



universität
wien

DIPLOMARBEIT

„EEG-Quellenlokalisation bei Vorgabe unterschiedlich emotionaler Filmsequenzen – topographische DC-EEG Veränderungen und sLORETA“

Ulrike Tschida

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl:

A 298

Studienrichtung lt.

Psychologie

Studienblatt:

Betreuer:

Univ.- Prof. i. R. Dr. Herbert Bauer

*Für meine Eltern
&
meine Tochter Anja*

Danksagung:

Im Laufe einer Diplomarbeit sammeln sich viele Personen an, denen man dankbar ist, die einem mit Rat und Tat zur Seite standen, ohne deren Hilfe diese Arbeit schlechter oder vielleicht gar nicht möglich gewesen wäre.

Ich danke vielmals:

Univ. Prof. Dr. Herbert Bauer, als Betreuer und vor allem für seine Bereitschaft – trotz Unterbrechung – mich bis zum Ende dieser Arbeit zu unterstützen.

Ing. Ulrich Leodolter, für seine Programmierung bzw. die technische Umsetzung des Experiments sowie seine „Engelsgeduld“, mir zu helfen, wann auch immer mich die Technik vor schier unlösbare Rätsel stellte.

Univ. Prof. Dr. Claus Lamm, für die unterschiedlichsten Hilfestellungen - von der Durchführung des Experiments, über das Averaging, die Auswertung, etc. bis hin zum Abkühlen des EEG-Verstärkers mit Föhn ☺.

Mag.^a Maria Th. Furtlehner für ihre Unterstützung bei sLORETA.

Barbara, Hanna, Vroni und Josef, meinen Mitstreitern im damaligen EEG-Kellerlabor. Ganz abgesehen von der gegenseitigen Hilfestellung beim Elektrodenkleben oder beim Auswerten – ohne euch hätte es nicht annähernd so viel Spaß gemacht – trotz widerspenstiger PCs und boykottierenden EEG-Verstärkers!

Und schließlich, danke ich den eigentlichen Hauptdarstellern meiner Diplomarbeit – den 36 *Versuchspersonen*, die freiwillig bereit waren mehrere Stunden ihrer Freizeit zu opfern, sich den Kopf voll mit Elektroden kleben ließen, geduldig immer die gleichen Filme ansahen um letztendlich das Haar mit Aceton „gewaschen“ zu bekommen.

Das waren die Personen, die unmittelbar Einfluss auf meine Diplomarbeit hatten – aber daneben gab auch noch Menschen, deren Wirken vielleicht nicht offensichtlich, aber auch nicht unwichtig für das Gelingen war: *Danke, meinen Eltern, Danke Peter!*

Inhaltsverzeichnis:

Einleitung.....	7
I) THEORETISCHER TEIL	
1 Definitionen zu Wort und Verständnis der Emotion.....	10
2 Emotionen - Entwicklung, Funktion und Einteilung	13
2.1 Kategorisierung von Emotionen	16
3 Die Emotionen Angst, Ekel und Heiterkeit	17
3.1 Angst	17
3.2 Ekel	18
3.3 Heiterkeit	19
4 Theorien zur Genese von Emotionen	21
4.1 Periphere oder Feedback - Theorien	21
4.2 Zentrale neurobiologische Theorien	22
5 Funktionelle Neuroanatomie der Emotionen	25
5.1 Emotionen und das Limbische System	25
5.2 Funktionelle Neuroanatomie der Emotionen: Strukturen und Kerngebiete im Gehirn und deren Funktionen bei emotionalen Prozessen	27
5.2.1 Die Amygdala	27
5.2.2 Der Gyrus Cinguli	30
5.2.3 Die Basalganglien	31
5.2.4 Der Präfrontale Cortex (PFC)	32
5.2.5 Der Nucleus Accumbens (NAc)	34
5.2.6 Die Insula	35
5.2.7 Hypothalamus	36
6 Neurochemie der Emotionen	38
6.1 Klassische Neurotransmitter	38
6.1.1 Noradrenalin (NA)- System	38
6.1.2 Dopamin (DA)- System	39
6.1.3 Serotonin- (5HT-) System	40
6.1.4 Zentrales Acetylcholin- (Ach-) System	41
6.1.5 Gamma- Aminobuttersäure- (GABA-) System	41
6.1.6 Glutamat- System	42
6.2 Neuropeptide	43

7 Emotionen und EEG	45
7.1 Das Elektroenzephalogramm	45
7.1.1 Ereigniskorrelierte und Langsame Potentiale	45
7.1.2 EEG-Genese mit besonderer Berücksichtigung der Entstehung von DC- Potentialen	46
7.2 Evozierte Potentiale, DC- Potentiale und Emotionen	47
8 Studienergebnisse zu speziellen Aspekten bei Emotionen	51
8.1 Visuelle Wahrnehmung und ihre Beeinflussung durch Emotion	51
8.2 Filminduzierte Emotionen und ihre neuroanatomischen Korrelate	52
8.3 Emotionen und Hemisphärenlateralität	52
8.3.1 Hemisphärenasymmetrie und der „Affektive Stil“	53
8.4 „Emotionale“ Geschlechtsunterschiede	55
8.5 Zusammengefasste Ergebnisse speziell zu den im Versuch verwendeten Emotionen: Angst, Ekel und Heiterkeit	59
8.5.1 Angst	59
8.5.2 Ekel	61
8.5.3 Heiterkeit	63
II) EMPIRISCHER TEIL	
9 Hypothesen.....	67
10 Versuchsdesign.....	68
10.1 ProbandInnen.....	70
10.2 Ablauf des Experimentes.....	70
10.3 Abfolge der Filme.....	71
10.4 Itemmaterial.....	72
10.4.1 Emotionsinduktion durch Filmsequenzen.....	73
10.4.2 Kurzbeschreibung der verwendeten Filmsequenzen.....	75
10.4.3 Technische Aufbereitung der Filme.....	78
10.5 Fragebögen zu den Filmsequenzen.....	79
11 Technische Details des Experiments.....	80
11.1 Elektroden und Applikation.....	80
11.2 3D PHD - Photogrammetric Head Digitizer.....	81
11.3 Sterno-vertbrale Referenz.....	81
11.4 EEG-Verstärker und Registrierung.....	82
11.5 Signalverarbeitung.....	83
11.6 Artefaktquellen und deren Behandlung.....	83

12 Datenaufbereitung.....	85
12.1 Artefaktkontrolle der EEG-Signale.....	85
12.1.1 Kontrolle der Rohdaten.....	85
12.1.2 Kontrolle der geaveragten Daten.....	86
12.2 Averaging.....	86
12.3 Bildliche Darstellung und deskriptive Analyse der Potentialverteilungen.....	87
12.3.1 sLORETA.....	87
12.3.2 SCP- und CSD- maps.....	88
13 Statistische Datenanalyse.....	90
13.1 Varianzanalyse mit Messwiederholungen.....	90
13.1.1 Voraussetzungen der Varianzanalyse mit Messwiederholungen (MWVA).....	91
13.2 Diskriminanzanalyse.....	92
14 Ergebnisse.....	93
14. 1 Inferenzstatistik.....	94
14.1.1 Überprüfung der H1.....	94
14.1.2 Überprüfung der H2.....	101
14.1.3 Überprüfung der H3.....	102
14.1.4 Überprüfung der H4.....	103
14.2 Diskriminanzanalysen (DA).....	105
14. 3 Deskriptive Analyse der EEG-Daten.....	106
14.3.1 sLORETA.....	106
14.3.1.1 Quellenlokalisierung der signifikanten MWVAs zu den MPn 1,2,3.....	106
14.3.1.2 Einzelvergleiche der Emotionsbedingungen mit sLORETA.....	107
14. 3. 2 Deskriptive Analyse der DC – Maps.....	113
14.3.2.1 DC-Maps der Overall-Averages.....	114
14. 4 Auswertung der Fragebögen.....	117
15 Interpretation und Diskussion.....	121
Literatur.....	132
Anhang I.....	145
Anhang II.....	154
Anhang III.....	158
Anhang IV.....	160
Zusammenfassung	161
Abstract	163
Curriculum Vitae.....	165

Einleitung

Über Emotionen wurden bereits so viele Texte, Bücher, Abhandlungen und Arbeiten verfasst, dass es mir ziemlich schwer fällt, eine passende Einleitung zu dieser Diplomarbeit zu finden. Klingt wohl etwas paradox, aber nach umfassendem Literaturstudium zum Thema Emotionen fühlt es sich so an, als sei bereits alles einmal gesagt oder geschrieben worden, und jeder weitere allgemein einleitende Kommentar eine Wiederholung und oberflächliche Zusammenfassung. Emotionen sind ein großes Thema und der in dieser Diplomarbeit behandelte Aspekt nur ein kleiner Teil dessen, was dieses Phänomen ausmacht. Nichtsdestotrotz ist es ein nicht unwichtiges Detail - die neurobiologischen Grundlagen von Emotionen. Das Gehirn ist nun einmal Ausgangsort all dessen, was wir an Emotionen, Gefühlen, wahrnehmen und empfinden. Emotionen stellen eine Art sechstes Sinnsystem dar, das hilft Informationen unserer anderen 5 Sinne besser, schneller und effizienter zu verarbeiten, zu verstehen und optimal darauf zu reagieren. Will man neurowissenschaftlich erfassen, wie menschliches Verhalten funktioniert, kann man an den emotionalen Prozessen im Gehirn nicht vorbei. Sie sind gleichsam das „Salz in der neurokognitiven Suppe“, die uns alles schmackhaft machen können oder eben auch versalzen. Wie das genau vor sich geht, wird derzeit in den kognitiven Neurowissenschaften intensiv erforscht – endlich – denn lange Zeit wurden die Emotionen negiert. Kognitive Leistungen kann man genau beobachten und messen – im Gegensatz zu Emotionen, deren Gestalt als etwas Subjektives und nicht Greifbares nur erahnt werden kann. Emotion in der neurowissenschaftlichen Forschung existierte früher höchstens als Störvariable kognitiver Prozesse. Beim Experiment zu dieser Diplomarbeit war es umgekehrt – die kognitiven Prozesse, die parallel zu den emotionalen Vorgängen stattfanden, wurden als Störvariable betrachtet und, so gut es ging, ausgeschlossen. Der Versuch selber sollte Auskunft geben über mögliche elektrokortikale Unterschiede bei der Verarbeitung verschiedener Emotionen. Begonnen hatte alles mit einer Videokassette von Filmsequenzen, die in einer Diplomarbeit (Willhelm, P., 1993) auf ihre emotionale Wirkung überprüft und validiert worden waren. Es entstand die Idee, den in dieser Arbeit gefundenen Einfluss der Filme auf das subjektive emotionale Empfinden, auch objektiv, über Veränderungen langsamer Potentialverschiebungen im EEG, nachzuspüren. Von Interesse waren dabei nicht Unterschiede zwischen Emotionen und „Nicht-Emotionen“ sondern Unterschiede zwischen verschiedenen Arten von Emotionen – werden unterschiedliche Emotionen auch unterschiedlich im Gehirn verarbeitet, bzw. lassen sich diese Unterschiede mittels DC-EEG und sLORETA nachvollziehen? Im Brain Research Lab (BRL) des Institutes für Psychologie an der Universität Wien waren davor schon einige Studien zum Thema Emotionen durchgeführt worden. In all diesen Diplomarbeiten oder Dissertationen konnten Einflüsse emotionaler Stimulierung nachgewiesen werden, was sich zumeist in einer ausgedehnten kortikalen DC-Positivierung niederschlug. Als Reizmaterial

wurden meist Bilder, in einem Fall sogar Gerüche, verwendet. Ganze, minutenlange Filmsequenzen waren dagegen ein Novum. Es stellte sich durchaus auch als schwierig heraus die Filmausschnitte in eine, für eine Untersuchung mit DC – Potentials, brauchbare Form zu bringen. Viele Sequenzen der ursprünglichen Studie mussten aufgrund ihrer Länge verworfen, neue dagegen generiert werden. Zum Beispiel wurde die anfänglich miteinbezogene Emotion „Trauer“ wieder aus dem Versuchsdesign entfernt, weil keine geeigneten kurzen Filme zu finden waren. Die Wahl fiel letztendlich auf die Emotionen: Angst, Ekel und Heiterkeit, was sich sowohl auf ihren Status als sog. „primäre Emotionen“ gründete, als auch, ganz banal, auf das Vorhandensein ausreichenden Filmmaterials.

Die nächsten rund 120 Seiten handeln also von dem Versuch, die emotionalen „Filme“, die im Kopf ablaufen, mit Techniken des DC-EEGs und sLORETA sichtbar und unterscheidbar zu machen.

I) THEORETISCHER TEIL

1 Definitionen zu Wort und Verständnis der Emotion

„Ich gebe zu, dass ich unfähig bin, eine Definition von Gefühl zu geben.“

(Ronald de Sousa in: „Die Rationalität des Gefühls“, S.47, 1997)

Vor ganz ähnlichen Schwierigkeiten stehen auch Wissenschaftler, wenn es darum geht eine klare Definition des Phänomens Emotion zu geben. Seit Jahrtausenden beschäftigt man sich mit Emotionen aus den unterschiedlichsten Blickwinkeln – Religion, Politik, Wirtschaft, bildende Kunst, Literatur, Medizin, Psychologie und Philosophie. Die griechischen Philosophen gehörten zu den ersten, die sich der Emotionen annahmen. Für Aristoteles beispielsweise hatten sie nichts Mystisches an sich, er sah in ihnen einen natürlichen, biologisch bedingten, körperlichen Vorgang (Lyons, 1992). Im Laufe der Zeit änderten sich jedoch philosophische und v.a. religiöse Ansichten und so geriet die naturwissenschaftliche Beschäftigung mit Emotionen für lange Zeit in Vergessenheit. Erst Ende des 19. Jahrhunderts schrieb C. Darwin den Gefühlen evolutionäre Bedeutung zu und W. James entwickelte seine radikale, rein biologisch orientierte, Emotionstheorie. Heute ist eine naturwissenschaftliche Basis in der Emotionsforschung selbstverständlich. Aber nichtsdestotrotz ist man nach wie vor weit entfernt von einer einheitlichen Definition der Emotion. Ein schönes Beispiel für den Facettenreichtum diverser emotionaler Begriffsbestimmungen ist die Zusammenfassung sämtlicher in Fachbüchern und – publikationen verwendeten Emotionsdefinitionen von Kleinginna und Kleinginna (1981; nach Euler, Mandl, 1983), die in etwa auf 100 verschiedene Definitionen kommen. In insgesamt 11 Kategorien bzw. Ausgangsbereiche teilten die beiden Autoren die Begriffsbestimmungen zu Emotionen. Als Konglomerat aus all diesen unterschiedlichen Herangehensweisen bildeten P. R. und A. M. Kleinginna eine Arbeitsdefinition der Emotion:

„Emotion ist ein komplexes Interaktionsgefüge subjektiver und objektiver Faktoren, das von neuronal/hormonalen Systemen vermittelt wird, die a) affektive Erfahrungen, wie Gefühle der Erregung oder Lust/Unlust, bewirken können; b) kognitive Prozesse, wie emotional relevante Wahrnehmungseffekte, Bewertungen, Klassifikationsprozesse, hervorrufen können; c) ausgedehnte physiologische Anpassungen an die erregungsauslösenden Bedingungen in Gang setzen können; d) zu Verhalten führen können, welches oft expressiv, zielgerichtet und adaptiv ist.“

Eine allgemein gültige, und vor allem eine allgemein akzeptierte, Definition des Begriffes Emotion scheint beinahe unmöglich. In der oben zitierten Arbeitsdefinition wird versucht alle Aspekte einer emotionalen Erfahrung in Betracht zu ziehen, was sie ein wenig vage wirken lässt. Setzt man hingegen

auf mehr Präzision, läuft man leicht Gefahr die vielschichtigen Perspektiven von Emotionen einzuengen und auf ein Minimummaß der jeweiligen Betrachtungsweise zu reduzieren. Im Hinblick aber auf die, vor allem in den Neurowissenschaften, oft schwierige Operationalisierung von Emotionen erweist sich dies allerdings meist als das kleinere Übel.

Einer der verschiedenen Betrachtungsweisen ist der psychophysiologische Ansatz, der auch den Rahmen dieser Arbeit bildet und von folgenden Grundannahmen ausgeht:

- Emotionen sind an die Funktionstüchtigkeit zentralnervöser und vegetativ-autonomer Strukturen gebunden.
- Unterschiedliche Emotionen gehen einher mit differenzierbaren Mustern zentralnervöser, vegetativer und muskulärer Prozesse, die mit psychophysiologischen Methoden gemessen werden können.
- Bewusste, kognitive Bewertungsprozesse können Intensität und Qualität von Emotionen beeinflussen, sind aber keine Voraussetzung dafür.
- Es gibt „Basisgefühle“, die angeboren sind und die in genetisch festgelegten physiologischen Mustern als Reaktion auf spezifische Reize ausgelöst werden (Prepared emotions).
- Beim Menschen mit abgeschlossener Sprachentwicklung laufen Emotionen stets als Reaktion auf äußere oder körperinterne Reize auf drei Ebenen ab: der physiologischen, der motorischen und der subjektiv – verbalen.

(Aufzählung aus Euler/Mandl, 1981, S. 50-51)

In der Psychophysiologie wird prinzipiell davon ausgegangen, dass unterschiedliche Emotionen messbar unterscheidbare, spezifische physiologische Muster bilden. Es gibt zahlreiche Untersuchungen und Studien die sich Muskeltonus-, Herzfrequenz- oder Veränderungen der elektrodermalen Aktivität u.v.m. bei Emotionen widmen. Derartige peripherphysiologische Änderungen sind aber zu grob, um tatsächlich emotionsspezifische Muster abbilden zu können. Man nimmt an, dass sich diese feinen Unterschiede eher auf zentralnervöser Ebene im Gehirn und weniger stark im autonomen Nervensystem (ANS) abbilden. Der Emotionsforscher Ekman meinte, dass sich zwar unterschiedliche peripherphysiologische Aktivierungsmuster für Angst, Ärger und Ekel, nicht jedoch für Freude, Überraschung oder Verachtung finden lassen müssten, weil letztere vermutlich mit keinem universellen Verhaltensmuster einhergehen, zu dessen Ausführung es einer physiologischen Aktivierung bedürfe (Ekman, 1992, nach Stemmler, 1998, S. 98). Gemeinsam mit Davidson fasste Ekman Stellungnahmen der Autoren Gray, Davidson, Panksepp, LeDoux und Levenson dazu zusammen: „*Alle Autoren stimmen*

darin überein, dass spezifische biologische Veränderungen mit Emotionen einhergehen, aber außer Levenson halten es alle für unwahrscheinlich, dass diese emotionsspezifischen Muster im autonomen Nervensystem zu finden sind.“ (Ekman & Davidson, Kap. 6 in *The Nature of Emotion*, 1994). Demnach konzentriert sich die Suche nach emotionsspezifischen Mustern und Abläufen hauptsächlich auf das Gehirn.

Um aber überhaupt erst einmal nach emotionsspezifischen Mustern suchen zu können muss man sich über die verschiedenen Dimensionen und Erscheinungsarten von Emotionen im Klaren sein. Eine Emotion kann zuallererst einmal als angenehm, positiv, oder unangenehm, negativ, empfunden werden. Diese Polarität von gut und schlecht wird als die Ebene der Valenz bezeichnet. Eine weitere Dimension bildet der Grad der Erregung, das „Arousal“, den eine Emotion auslöst. Und schließlich spricht man auch noch von der Handlungsdimension bzw. Intention einer Emotion - je nach Kontext wird das resultierende Verhalten eine Annäherung an das auslösende Emotionsereignis oder eine Wegbewegung bzw. Vermeidung beinhalten. Jede dieser drei Dimensionen stellt von hirnpfysiologischer Seite her einen anderen Zustand dar, verlangt nach anderen neuronalen Verarbeitungsprozessen bei Emotionen. Es reicht also bei der Emotionsforschung nicht nur die Art der Emotion zu bestimmen und experimentell zu induzieren, jede dieser komplexen, gleichzeitig mit der Emotion auftretenden, sie bestimmenden, Ebenen sollte ebenfalls, um Konfundierungen zu vermeiden, möglichst genau erfasst werden. Etwas, was in der experimentellen Praxis meist sehr schwierig bis unmöglich ist, was aber zumindest bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden muss. Neben diesen drei inhaltlichen Ebenen der Emotionen gibt es auch noch eine zeitliche Dimension – die Dauer. Streng genommen versteht man unter einer Emotion in der Forschung eigentlich nur ein kurzes, zeitlich begrenztes Ereignis, das immer an einen auslösenden Reiz (sei er bewusst oder unbewusst, intern oder extern) gekoppelt ist. Von der Emotion abzugrenzen sind das Gefühl und die Stimmung. Das Gefühl stellt die subjektive Empfindungsebene einer Emotion dar, während die Stimmung eine undifferenzierte, längerandauernde Einfärbung der subjektiven Befindlichkeit ist. Genau diese subjektive Empfindungsebene ist es, die in der empirischen Emotionsforschung meist für ungute Emotionen sorgt. Das Gefühl, die Empfindung einer Emotion kann mit objektiven Daten im strengen Sinne nicht überprüft werden. Um einen kausalen Zusammenhang zwischen beobachteten Variablen und einer empfundenen Emotion herzustellen, ist man immer auf die subjektiven Angaben der Versuchspersonen angewiesen. Aus verständlichen Gründen beschränkte man sich in vielen neurowissenschaftlichen EEG-Studien vor allem auf die Untersuchung von Emotionen auf perzeptiver Ebene¹. In den ersten Millisekunden der Wahrnehmung relevanter Stimuli erscheinen Emotionsprozesse noch „rein“ und

¹ Einige Ausnahmen bilden u.a. Studien, die das Erinnern emotionaler Erlebnisse beinhalten, oder Untersuchungen zum „Affektiven Stil“ (Davidson, 1999).

unbeeinflusst von kognitiven Vorgängen. In Studien findet man daher meist einen Zeitrahmen von 0 – 4 sec post stimulus, wobei die Erfassung von Emotionen im Sekundenbereich schon eher selten ist, am häufigsten werden eben erste emotionale Prozesse im Millisekundenbereich nach Auftreten eines relevanten Reizes erfasst. In diesem Zeitfenster können objektiv Unterschiede zwischen neurophysiologischen Prozessen beim Wahrnehmen emotional wichtiger und unwichtiger Stimuli untersucht werden. Die Prozesse, die aber im Anschluss an die ersten perzeptiven Vorgänge erfolgen, bleiben meist unbeobachtet. Dabei sind es Emotionen, die bei komplexen, differenzierten höheren kognitiven Aufgaben, bei exekutiven Funktionen, wie z. B. vorausschauendem Planen, Risikoeinschätzung, Entscheidungen oder sozialer Interaktion über einen längeren Zeitraum hinweg eine wichtige Rolle spielen. In dieser Diplomarbeit soll untersucht werden, ob unterschiedliche Emotionen auch verschiedene kortikale Potentialverteilungen mit differenten Generatoren aufweisen. Es sind dabei aber nicht erste Wahrnehmungsunterschiede bei emotionalen Stimuli von Interesse, sondern längerandauernde Emotionen. Beobachtet werden daher nicht exogene oder endogene Komponenten der evozierten Potentiale nach Vorgabe emotionsinduzierender Stimuli sondern die topographische Verteilung langsamer Potentiale von 10 - 20 sec nach Reizbeginn. Die Untersuchung emotionaler Prozesse erfolgt demnach nicht auf der ersten Ebene der Wahrnehmung sondern auf Prozessebene der emotionalen, kortikalen Verarbeitung und auf Gefühlsebene der bewussten Empfindung. Man kann davon ausgehen, dass Emotionen, wenn sie induziert werden können, in diesem späten Zeitbereich auch bewusst empfunden werden. Diese subjektive Ebene wird zwar im Experiment mittels Fragebögen erfasst, lässt sich aber in die Datenanalyse der langsamen Potentiale nur indirekt miteinbeziehen. Es kann aber festgestellt werden, ob die ausgesuchten emotionsinduzierenden Stimuli, in diesem Fall kurze Filmsequenzen, generell geeignet sind experimentell Emotionen auszulösen und differenzierte SCP entstehen zu lassen, wobei neurowissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge angenommen werden kann, dass verschiedene Emotionen auch unterschiedlich verarbeitet werden.

2 Emotionen - Entwicklung, Funktion und Einteilung

Welchen Zweck haben Emotionen? Wozu werden sie benötigt und warum sind sie so wichtig?

Außer Zweifel steht die Bedeutung der Emotionen sicherlich im sozialen Kontext - sei es bei Eltern-Kind oder Liebes- wie freundschaftlichen Beziehungen, Interaktionen und Kommunikation. Emotionen triggern aber auch Reaktionen und zwar schnelle Reaktionen, die Überleben sichern sollen. So löst Angst eine unmittelbare, reflexhafte motorische Verhaltensantwort aus, wenn etwas Bedrohliches vor einem auftaucht. Der ganze Körper wird binnen Millisekunden auf Hochtouren gebracht, Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Reaktionsbereitschaft auf ein Maximum angehoben. Auf Emotionen erfolgt eigentlich immer eine Reaktion (außer sie wird willentlich unterdrückt – was aber letztendlich ebenfalls eine Reaktion ist) – stark oder schwach, im Normalfall der Situation angemessen und der Intensität der Emotion angepasst. Emotionen können Antrieb und Motivation sein, sie lösen Verhalten aus oder modifizieren es. Sie lassen Risiken eingehen oder vermeiden, im Voraus planen und Entscheidungen treffen. Kognitive und emotionale Prozesse sind dabei komplex miteinander verbunden und steuern gemeinsam menschliches Verhalten. Diese Verhaltenssteuerung ist nach Ansicht E. T. Rolls (2005) überhaupt die wichtigste Aufgabe von Emotionen. Rolls definiert sie als Zustände, die durch Verstärker, positive wie negative, ausgelöst werden. Seiner Annahme nach entstanden emotionale Verhaltensengramme im Gehirn rund um Belohnungs- und Bestrafungssysteme. Verhalten auf einen emotionsauslösenden Reiz wird in zwei Konditionierungsschritten erlernt („Zwei – Prozess – Theorie“). Das System von Belohnung und Bestrafung sieht Rolls als idealen Prozess um Verhalten optimal, und damit überlebenssichernd, an die Umwelt zu adaptieren. Emotionen entwickelten sich also als probates Mittel zum Zweck der optimalen Anpassung an die Umwelt. Charles Darwin war einer der ersten, der diese wichtige biologische Funktion von Emotionen erkannte und dazu eigens eines seiner Werke, „The Expression of Emotion in Men and Animals“, 1872, verfasste. Sein Konzept der primären Emotionen besagt, dass es bestimmte, universelle Verhaltensmuster gibt, die auf genetisch determinierten biologischen Mechanismen beruhen. Diese Basismechanismen sind auf der ganzen Welt, mehr oder weniger, bei allen Menschen gleich und angeboren. Nach J. A. Gray (1982, nach: Birbaumer, Schmidt, 2000, S. 651) beruhen drei neurophysiologische Verhaltenssysteme auf Emotionen. Das *Annäherungssystem*, auch als BAS (behavioral approach oder activation system) bezeichnet, wird dem mesolimbischen Dopaminsystem zugeordnet. Beim *Kampf- Flucht- System* ist die Amygdala im medialen Temporallappen die entscheidende Instanz der Reizevaluation, und schließlich das *Verhaltenshemmsystem*, kurz BIS (behavioral inhibition system), welches lt. Gray über das septo-hippocampale System gesteuert wird.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Anpassung des Verhaltens aufgrund von Emotionen (Rolls, 2005) über Konditionierungsprozesse. Zuerst kommt es zu einer assoziativen Verbindung zwischen Reiz und emotionalem Zustand mittels klassischer Konditionierung. Nach Zuordnung des Reizes als erstrebenswert oder vermeidend, wird anschließend über operante Konditionierung ein passendes Verhalten erlernt, das entweder eine Annäherung oder ein sich Entfernen vom Reiz beinhaltet. Die Emotion selbst ist im Rahmen dieser Prozesse ein integraler Bestandteil. Sie definiert in der ersten Phase, ob der Stimulus als Belohnung oder Bestrafung erlebt wird, wodurch der emotionale Zustand einen motivationalen Charakter bekommt. Dabei handelt es sich aber nicht um eine simple immer gleichbleibende Reiz- Reaktionsabfolge, zumal beim Menschen auch kognitive Prozesse bei der letztendlich ausgewählten Verhaltensweise eine bedeutende Rolle spielen.

Hier wird angedeutet, was in der Psychologie zu erheblichen Differenzen geführt hat und immer noch führt– das Zusammenspiel, die Un-/Abhängigkeit oder gar die Konkurrenz von Kognition und Emotion. Während die eine Seite (wie z. B.: R. B. Zajonc) die völlige Unabhängigkeit von Emotion und Kognition postuliert, wobei die Emotion mächtiger und schneller als die Ratio angesehen wird, geht die andere Seite davon aus, dass es ohne Kognition keine Emotion geben kann. Aus kognitiv-phänomenologischer Perspektive, die u.a. von R. Lazarus (1980) vertreten wird, werden Emotionen als Ergebnis kognitiver Bewertung der Interaktion von Person und Umwelt gesehen (Lazarus et al.; aus Plutchik, Kellermann, 1980). Die grundlegende Bedeutung von Kognitionen bei Emotionen wird vor allem in der „appraisal theory“ betont. Darin wird auch auf die Tatsache eingegangen, dass gleiche Situationen bei verschiedenen Menschen unterschiedliche Reaktionen und Emotionen auslösen können. Scherer entwickelte, basierend auf der appraisal theory, ein mehrere Ebenen umfassendes „Komponenten Prozess Modell“ (CPM), das Entstehung und verschiedene Stadien von Emotionen erklären soll. Emotionen entstehen dabei infolge mehrerer sequentieller „Stimulus Evaluation Checks“ (Scherer, K. R., 2009). Alle Komponenten des emotionalen Geschehens (Bewertungsergebnisse, Handlungstendenzen, somato-viszerale Veränderungen und motorische Expression) sind dabei zentralnervös repräsentiert und konstant in einem multimodalen Integrationsareal verbunden.

Auch in der neurowissenschaftlichen Forschung war es jahrzehntelang üblich Kognition und Emotion strikt zu trennen, was letztendlich zu einer Vernachlässigung der Emotionsforschung führte. In den letzten 20 Jahren wendet man sich wieder vermehrt den Emotionen zu – auch vor dem Hintergrund, dass die strenge Trennung von Kognition und Emotion schlicht und einfach nicht den Tatsachen entspricht. *„A pure cognitive approach, one that omits considerations of emotions, motivations, and the like, paints an artificial, highly unrealistic view of real minds. Minds are not either cognitive or emotional, they are both, and more“.* (LeDoux, 2000)

2.1 Kategorisierung von Emotionen

Ausgehend von den Funktionen und einer evolutionsbiologischen Sichtweise der Emotionen entstanden im Laufe der wissenschaftlichen Beschäftigung mit diesem Phänomen eine ganze Reihe von kategoriellen Einteilungen, welche Arten von Emotionen es überhaupt gibt, welchen Verhaltensweisen sie vorausgehen, bzw. aus welchem Antrieb sie sich entwickelten. Die Kategorisierungen und Konzepte zum Thema Emotionen haben teilweise sehr unterschiedliche Ansätze, von informationstheoretischen bis hin zu neurophysiologischen Erklärungen. Gemeinsam ist den meisten, dass sie, in der Tradition Darwins, versuchen primäre oder fundamentale Emotionen zu definieren. Diese „Basisemotionen“ sind genetisch determiniert und bei allen Menschen zu finden. Sie bilden das „Grundgerüst“ für die Entwicklung aller möglichen Emotionsvarianten. Basierend auf diesen Kategorisierungen wurde die Auswahl des im Experiment zu dieser Diplomarbeit verwendeten emotionalen Reizmaterials getroffen. Die drei gewählten Emotionen, Angst, Ekel und Freude/Heiterkeit werden demnach in fast allen Konzepten als primäre Emotionen eingestuft. Unten stehende Tabelle gibt einen Überblick über die, von diversen Wissenschaftlern postulierten, primären Emotionen, wobei gleichzeitig auch unterschiedliche Auffassungen erkennbar werden.

	McDougall	Plutchik	Tomkins	Izard	Ekman
Furcht	+	+	+	+	+
Ärger	+	+	+	+	+
Ekel ¹	+	+	+	+	+
Kummer/Traurigkeit ² [+]	+	+	+	+	+
Freude	-	+	+	+	+
Überraschung	-	+	+	+	+
Verachtung ¹	-	-	+	+	(+) ³
Interesse	-	-	+	+	(+)
Scham	-	-	+	+	(+)
Schuld	-	-	-	+	(+)
Schüchternheit	-	-	-	+	-
Akzeptieren	-	+	-	-	-
Erwartung	-	+	-	-	-
Unterwürfigkeit	+	-	-	-	-
Zärtlichkeit	+	-	-	-	-
Staunen	+	-	-	-	-
Hochgefühl	+	-	-	-	-

(Meyer, W.-U., Schützwohl, A., Reisenzein, R., 1999; aus Krimm, 2002)

3 Die Emotionen Angst, Ekel und Heiterkeit

Die Bandbreite möglicher menschlicher Emotionen ist groß, das Spektrum wahrscheinlich umfangreicher als jemals sprachlich erfasst werden kann. Dazu kommt, dass das Erleben von Emotionen etwas sehr Subjektives ist. Der Mensch lernt in seiner Entwicklung einen Gefühlszustand, der aus einem bestimmten Anlass entsteht, mit einem Wort zu belegen. Die Benennung von Gefühlen, seien es die eigenen oder die von anderen, ist abstrakt. Zwei Menschen können traurig sein und dieses Gefühl auch verbal mit dem Wort „traurig“ ausdrücken, aber wie kann man wissen, ob die Empfindung, die beide verspüren auch tatsächlich die gleiche ist, oder ob nicht auch gleichartige emotionale Zustände mit unterschiedlichen Worten beschrieben werden? Emotionen als Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen müssen daher möglichst klar definiert und eindeutig verständlich sein. Darum wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit die drei Emotionen Angst, Ekel und Heiterkeit ausgewählt. Sie zählen zu den primären Emotionen, was bedeutet sie gehören zur emotionalen Grundausstattung jedes Menschen, egal welcher Herkunft, Bildung oder welchen Alters. Alle drei Gefühlszustände können durch, für die jeweilige Emotion charakteristische, Stimuli ausgelöst werden, zeigen ein typisches körperlich-autonomes Erscheinungsbild und sind auch von Sprachgebrauch wie -verständnis her relativ präzise beschreibbar.

3.1 Angst

Angst ist wahrscheinlich die Emotion, die Verhalten am umfassendsten beeinflussen kann. Sie ist eine angeborene Emotion, die in Situationen, die eine Bedrohung für das Individuum darstellen, entsteht. Dabei unterscheidet man zwischen der Angst, als diffuse, peripher- physiologische wie zentralnervöse Überaktivierung bei Gefahr, und der Furcht, als spezifische, motorisch- physiologische Reaktion in einer bedrohlichen Situation (Izard, 1994). Die Abwesenheit von etwas das Sicherheit vermittelt (Bolwby, 1973, nach: Izard, 1994), oder das Nichtauftreten eines erwarteten Ereignisses (Gray, 1971, nach: Izard, 1994), können ebenfalls Gefühle von Angst und Furcht hervorrufen. Die Auslöser sind dabei natürlichen oder erlernten Ursprungs. Gray entwickelte eine Klassifikation angeborener Determinanten, die Angst erzeugen. Er teilt diese in vier Kategorien:

1. *Intensität*, dazu gehören beispielsweise ein lautes Geräusch oder Schmerz
2. *Neuheit*, wie fremde Personen, oder das Ausbleiben einer Erwartung
3. *evolutionäre Gefahren*, darunter fallen Bedrohungen wie Dunkelheit oder große Höhe

4. als *Ursachen infolge sozialer Interaktion* versteht Gray emotionale Äußerungen wie Drohgebärden oder Zorn.

Eine Liste natürlicher Angstausröser und ihrer Derivate erstellte 1973 Bolwby. Demnach fungiert das Alleinsein als fundamentalster natürlicher Ausröser, gefolgt von Fremdheit, plötzlicher Annäherung, plötzlicher Veränderung von Stimuli, Höhe und Schmerz. Mit Derivaten meint Bolwby Ursachen, die im Kontext zu den natürlichen Angstausrösern stehen: Dunkelheit, Tiere, fremde Gegenstände und Personen.

Angst und Furcht können auch gelernt werden. Die Zwei- Prozess Theorie der Angstentstehung postuliert zwei Phasen für die Bildung von Angst. In der ersten Phase wird über klassische Konditionierung eine angeborene Furchtreaktion assoziativ mit einem neutralen Reiz verbunden. Mittels instrumentell- operanter Konditionierung wird dann in der zweiten Phase eine Bewältigungsstrategie erlernt. Furcht und Angst, bzw. infolge Vermeidung, als adaptives Verhalten zu lernen um sich seiner Umwelt optimal anzupassen ist im Grunde sinnvoll und notwendig. Über Konditionierungsprozesse können aber auch psychische Erkrankungen wie Phobien und Zwangsverhalten entstehen. Kognitive Prozesse spielen bei Entstehung wie Bewältigung von Furcht eine entscheidende Rolle. Nach Izard (1994) sind Kognitionen die allgemeinsten und häufigsten Furchtausröser. Erinnerungen an schlimme Ereignisse, Generalisierung Angst auslösender Stimuli und die Antizipation von Furcht an sich können ausreichen um sie entstehen zu lassen. Diese Bandbreite an Indikationsmöglichkeiten macht Furcht bzw. Angst interessant für die experimentelle Emotionsforschung. Furchtkonditionierung wird häufig im Tierversuch genutzt, um neurophysiologische Angstmechanismen nachvollziehbar zu machen. In Humanexperimenten sind es meist visuelle Stimuli, Bilder, Filme, oder unangenehme Töne, die zumindest eine gewisse Beunruhigung bei der Versuchsperson hervorrufen sollen. Eine andere Vorgehensweise stellt das Erinnern an Angst auslösende Situationen dar. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Filmszenen zur Angstinduktion ausgewählt, die natürliche, meist angeborene Ausröser zum Inhalt haben, wie zum Beispiel Schmerz oder Spinnen.

3.2 Ekel

Ekel ist eine direkte Abwehrreaktion auf einen aversiven, ungustösen Reiz. Ekel geht einher mit einem Gefühl der Übelkeit und kann bei sehr starker Intensität bis zum Brechreiz führen. Das Gefühl des Ekels hat sich als Schutzfunktion vor verdorbener Nahrung und zur Aufrechterhaltung ausreichender Hygiene entwickelt (nach Birbaumer, Schmidt, 1999). So besteht natürlich auch eine enge Verbindung zwischen Ekel und dem Geruchs- und Geschmackssystem. Dieses zeigt Besonderheiten in Bezug auf Konditionierungsprozesse. Wahrscheinlich verursacht durch die enge anatomische Verbindung des

Geruchs- und Geschmackssinnes mit Strukturen des Limbischen Systems und dem Hypothalamus, kann bei Lernprozessen das Intervall zwischen konditioniertem und unkonditioniertem Stimulus über Stunden hinweg ausgedehnt werden und dennoch Konditionierung möglich sein. In Zusammenhang mit möglichen Auslösern von Ekel, also verdorbenen Speisen oder Fäkalien, wurden für den experimentellen Teil dieser Arbeit dementsprechende Filmsequenzen ausgewählt. Auch Bilder von Gesichtern, die Ekel ausdrücken, können als Versuchsreiz vorgegeben werden. Neuere Hypothesen zur Emotionsentstehung (z.B.: Wicker et al., 2003) besagen, dass man den Gesichtsausdruck Ekel bei einem Gegenüber richtig bzw. besser interpretieren kann, wenn der Betrachter infolge automatischer Mikroimitationen der Mimik selbst ebenfalls eine Art von Ekel entwickelt.

3.3 Heiterkeit

Während die beiden vorangegangenen negativen Emotionen, ihre Bedeutung und das Erscheinungsbild genau beschrieben werden können, ist es bei der Heiterkeit schon etwas schwieriger. Heiterkeit ist ein Teilaspekt von, aber nicht gleich Freude, so wie diese im Rahmen fast aller Emotionstheorien definiert ist. Izard (1994) schreibt: *Freude ist gekennzeichnet durch ein Gefühl von Selbstvertrauen und Bedeutsamkeit, ein Gefühl geliebt zu werden und liebenswert zu sein.* In dieser, wenngleich auch sehr vagen Definition, steckt bereits eine wichtige Funktion von Freude, Vermittlung und Herstellen sozialer Beziehungen. Der mimische Ausdruck von Freude, Lachen oder Lächeln, ist wahrscheinlich der bedeutendste soziale Reiz, den es im Bereich menschlicher Beziehungen und Kommunikation gibt. Ein Umstand, den man sich bei der Erforschung emotionaler Prozesse zunutze macht, indem Photos von lächelnden Gesichtern positive Emotion induzieren sollen. Die Hypothese der emotionalen Ansteckung oder „emotional contagion“ (Hatfield et al., 1992) besagt, dass Menschen durch die Emotionen ihres Gegenübers „angesteckt“ werden und folglich das, über den Gesichtsausdruck vermittelte, Gefühl ebenfalls entwickeln. Die emotionsauslösende Wirkung von Porträtphotos ist dabei stabil und reproduzierbar, ebenso nimmt die Intensität der erzeugten Emotionen mit der Intensität des gezeigten mimischen Ausdrucks der Versuchsstimuli zu (Wild et al., 2001).

Nach diesem kurzen Exkurs zur Bedeutung von Gesichtsausdruck in der Emotionsforschung wieder zurück zum eigentlichen Thema, der Heiterkeit. Den Begriff Heiterkeit verwende ich absichtlich als Abgrenzung zu der allgemeinen, globalen Bedeutung von Freude. Freude ist vielschichtig und kann sehr unterschiedlich sein. Sie hat keine spezifischen Auslöser, und ist daher als Untersuchungsgegenstand nur schwer greifbar. Heiterkeit hingegen stellt eine kurzandauernde positive Emotion dar, als direkte Reaktion auf einen angenehmen Reiz, im Fall dieser Diplomarbeit ein heiterer Film. Man könnte natürlich auch den Begriff Humorverständnis verwenden, schließlich haben die

Filmszenen Humor zum Inhalt, über den sich die Versuchsperson amüsieren soll. Die Bezeichnung Humorverständnis weist bereits darauf hin, dass dieses aus einer affektiven wie kognitiven Komponente besteht. Leventhal (1970; nach Izard, C., 1994) entwickelte ein vierstufiges Informationsverarbeitungsmodell von Humorverständnis, wobei jede Stufe (Wahrnehmung, Interpretation, Informationsintegration, offene Beurteilung) einen eigenständigen Prozess kennzeichnet. In einem Experiment zu Humorverständnis stellte Leventhal außerdem fest, dass die Intensität des emotionalen Erlebens mit der Möglichkeit zur Expression des Gefühls steigt¹. In Rahmen dieser Arbeit wird aber weiterhin der Begriff Heiterkeit zur Verwendung kommen, weil es sich um einen emotionalen Begriff im Gegensatz zur eher kognitiven Bedeutung von Humorverständnis handelt.

¹ Während des Experimentes im Rahmen dieser Arbeit im BRL war den Versuchspersonen die körperliche Expression ihrer Gefühlsregung beim Betrachten der Filmsequenzen wegen der Aufnahmequalität des EEGs untersagt. Ob dies nun tatsächlich Einfluss auf die Stärke der empfundenen Emotion hatte, sei dahingestellt und ist zumindest im Rahmen dieses Versuches weder nachvollziehbar noch überprüfbar. Die subjektive Empfindung ist individuell, jedoch kann angenommen werden, dass zumindest die Wahrnehmung der Filme, für alle Versuchspersonen relativ gleich ist und sich hier messbare Unterschiede zwischen den Emotionsbedingungen ergeben könnten.

4 Theorien zur Genese von Emotionen

Beinahe so zahlreich wie Forschungsarbeiten in der Zwischenzeit über Emotionen existieren, gibt es auch Theorien zur Emotionsentstehung. Nachdem diese Prozesse auf verschiedenen peripher- und zentralnervösen Ebenen geschehen, zusätzlich Kognitionen, Gedächtnis, Persönlichkeit und Wahrnehmung eine Rolle spielen, ist natürlich auch das Feld der Erklärungsmöglichkeiten und daraus resultierender kontroversieller Meinungen ein sehr weites. Folgende Zusammenfassung nimmt nur auf Theorien Rücksicht, die sich auf psychophysiologische und neurobiologische Grundlagen beziehen.

4.1 Periphere oder Feedback - Theorien

Eine Emotion ist ein Ereignis, das durch verschiedenste Reize induziert werden kann. Sie ist an keine Reizqualität gebunden, sie kann mit jeder Art von Stimulus auftreten. Emotionen sind eine „bewertende Begleiterscheinung“ um Reize für den Organismus zu markieren und dadurch relevant werden zu lassen. Um bewusst wahrnehmbar werden zu können, benötigen Emotionen eine „spürbare“ Komponente, zumindest nehmen die Feedback-Theoretiker das an: einen emotionsspezifischen somatischen Zustand.

Emotionales Geschehen bringt eine Reihe bewusster körperlicher Erscheinungen mit sich: Herzklopfen, Schweißausbrüche, ein flaues Gefühl im Magen, u.ä. - den Feedback-Theorien nach, sind diese Vorgänge der Schlüssel zur Empfindung von Gefühlen. Nur über Gehirnprozesse, ohne Rückmeldung aus dem Körper, kann der Mensch keine, oder nur eine sehr eingeschränkte, bewusste Emotionserfahrung machen.

„*Wir weinen nicht, weil wir traurig sind, sondern wir sind traurig, weil wir weinen.*“, (nach: Izard, 1994) so plakativ beschrieb William James 1884 seine Sichtweise der Emotionen. Rückmeldungen körperlicher Zustände, hauptsächlich aus Muskeln und Viszera, die durch emotionsauslösende Reize entstehen, sollen dabei die Emotion an sich darstellen. Es handelt sich demnach also um die Wahrnehmung körperlicher Veränderungen, die als Emotion interpretiert wird. Um mit den Worten von James zu sprechen: *„Welche Art von Furcht übrig bleiben würde, wenn weder die Empfindung eines schnelleren Herzschlages noch die eines flachen Atems, weder die Empfindung zitternder Lippen noch die Gliederschwäche, weder die Empfindung der Gänsehaut noch die der Aufruhr in den Eingeweiden vorhanden wäre, ist überhaupt nicht vorzustellen.“* (James, 1884, nach: Krimm, 2002).

F.H. Allport differenzierte die James-Lange-Theorie. Dem autonomen Feedback wies er die Grundeinteilung in positive und negative Gefühle zu. Angenehmes wird demnach über den

Parasympathicus und Unangenehmes über den Sympathicus vermittelt. Bei Tomkins kommt das Feedback zur bewussten Empfindung von Emotionen nicht aus der Körperperipherie sondern von der Gesichtsmimik. In subkortikalen Zentren des Gehirns gespeicherte, angeborene emotionsspezifische Programme für organisierte Gesichtsreaktionsmuster werden automatisch bei einem entsprechenden Reiz initiiert, und liefern dann durch ihr spezielles Gesichtsfeedback Information zur bewussten Wahrnehmung der Emotion. Auf neurophysiologischer Ebene meinte Tomkins, dass die nervösen Muster der Emotionen durch einen Dichteanstieg oder eine -abnahme neuraler Impulse entstehen.

Während die eben erwähnten Feedbacktheorien eher historische Bedeutung besitzen, soll an dieser Stelle auf eine aktuelle, periphere Theorie eingegangen werden: „Die Hypothese der somatischen Marker“ nach A. Damasio. Sie stellt den Versuch einer Verbindung peripherer und zentraler Theorien (siehe Punkt 4.2 „Zentrale neurobiologische Theorien“, S. 22) dar. Für Damasio ist der emotionale Prozess ein kognitiver Vorgang im Gehirn, wie jede andere Art der Informationsverarbeitung auch. Wichtigster zentraler Schnittpunkt im Emotionsgeschehen ist der Präfrontale Cortex (PFC). Hier werden Assoziationen zwischen den Informationen über den relevanten Stimulus und einem bestimmten internalen körperlichen Zustand gebildet. Bestimmter internaler Zustand bedeutet in diesem Fall, die zu einem Gefühl passende körperliche Verfassung, verursacht durch autonome und somatische Veränderungen. Im Gehirn werden diese internalen Zustände als transiente Veränderungen im allgemeinen Aktivitätsmuster der kortikalen somatosensorischen Bereiche repräsentiert.

Tritt nun eine Situation mit emotionsauslösenden Reizen auf, aktiviert der PFC das zugehörige somatosensorische Muster - es wird ein passender somatischer Zustand hergestellt. Das bedeutet, alles was wir erleben, erfahren, wird mit einem somatischen Marker, wie Damasio es nennt, „gelabelt“, und bei Wiederauftreten der gleichen oder einer ähnlichen Situation macht uns unser Körperzustand, bzw. die Rückmeldung an die somatosensorischen Bereiche des Gehirns, bewusst, was wir empfinden. Erst, wenn das Feedback über den augenblicklichen Körperzustand in die Informationsverarbeitung aufgenommen wird, ist die Emotion dem Bewusstsein zugänglich und wird damit nach Damasio vom unbewussten Gefühl zur bewussten Empfindung. Diese Art der Rückmeldungsschleife wird als „body loop“ bezeichnet. Daneben entwarf der Neurowissenschaftler auch das Modell des sogenannten „as if body loop“. Dabei wird nach Signalen aus dem PFC in den somatosensorischen Bereichen nur die Vorstellung eines somatischen Zustandes generiert, der Körper selbst aber nicht innerviert. Das feedback der Vorstellung wird dann als Emotion interpretiert. Beide Mechanismen „body loop“ oder „as if body loop“ können sowohl bewusst als auch unbewusst stattfinden. In Bezug auf Entscheidungsverhalten deutet diese Hypothese darauf hin, dass neben dem kognitiven Faktenwissen, auch der somatische Zustand als Entscheidungsgrundlage herangezogen wird.

4.2 Zentrale neurobiologische Theorien

Im Gegensatz zu den peripheren Theorien stehen die zentralen Theorien, die das Primat über die Emotionen Prozessen im Gehirn zuschreiben oder wie J. Panksepp es ausdrückt: *„If the peripheral theories of emotions suggest that emotions are generated in the body and that only the reason is built within the brain, central theories maintain, in contrast, that emotions too are generated in the brain.“* (Panksepp 1986, nach: Gainotti, 1989)

Einer der ersten, der den Ort emotionalen Geschehens im Gehirn annahm, war 1927 W.B. Cannon. Seine Kritik richtete sich vor allem gegen die James-Lange Theorie, die er anhand zahlreicher Experimente zu entkräften versuchte. Cannons Meinung nach, wären die Eingeweide zu unsensibel und schwerfällig um differenzierte emotionale Geschehnisse hervorrufen zu können. Wichtigste Struktur bei Emotionen sei hingegen der Thalamus im Mittelhirn, welcher nicht nur das emotionale Verhalten steuere, sondern auch für das subjektive Erleben der Gefühle verantwortlich zeichne.

Während Cannon hauptsächlich einer Struktur emotionales Geschehen zuwies, entwarf Papez 1937 einen ganzen funktionalen Regelkreis aus diversen limbischen Hirnstrukturen, der für Emotionen zuständig sein sollte. Demnach entstünden Gefühle durch einen Informationskreislauf ausgehend und endend im Hippocampus über Mammillarkörper, Thalamus und Gyrus Cinguli.

Joseph LeDoux (1996) hält es angesichts der Erforschung von Emotionen für sinnvoll davon auszugehen, dass jede primäre Emotion über einen eigenständigen zentralen Verarbeitungsweg verfügt. Wohl sei es möglich, dass es einen allen Emotionen zugrundeliegenden Mechanismus gäbe, dieser könnte aber, wenn überhaupt, nur durch die Entschlüsselung der einzelnen neurobiologischen Emotionsprozesse entdeckt werden. *„It is not known whether there is a general purpose system of emotion in the brain, but if there is it will be identified readily by synthesizing across studies of specific emotions.“* (LeDoux, 1995)

In diesem Sinne konzentrierte sich LeDoux auf Angstprozesse und – mechanismen, wobei er eine Kernstruktur im medialen Temporallappen als Mittelpunkt identifizierte – die Amygdala (siehe Kap. 5.2.1, S. 27).

Neben den Versuchen anatomisch - funktionelle Grundstrukturen zu lokalisieren, ist man den Emotionen im Gehirn auch im Bereich der Neurochemie auf der Spur. Die Untersuchung von Transmittersystemen, Neuropeptiden, Neurohormonen und deren Wirkung (siehe Kap. 6, S. 38) soll Aufschluss geben über mögliche Emotionsmechanismen. Ergebnisse erhält man dabei meistens aus der Psychopharmakologie.

Der Neurobiologe Jaak Panksepp (2005) hat sich mit dem Zusammenhang von neurochemischen und emotionalen Systemen im Gehirn befasst. Nach seinem Konzept der „Primären Emotionskreisläufe“ lassen sich im menschlichen Gehirn sieben verschiedene exekutive Systeme für jeweils sieben Grundemotionen nachweisen: Wut, Angst, Neugier, Panik, Lust, Spiel und Fürsorge. Neurale exekutive Emotionssysteme im Gehirn initiieren und ordnen demnach die verschiedenen Aspekte emotionalen Verhaltens. Diese Kreisläufe sind nicht nur verantwortlich für eine emotionale Antwort, sondern stellen gleichzeitig ein integratives System dar, welches die Grundlagen für den affektiven Status schafft, den eine primäre Emotion kennzeichnet. Die neuralen Emotionssysteme sind hierarchisch organisiert, was auf ihre Entwicklung im Laufe der Evolution zurückzuführen ist.

5 Funktionelle Neuroanatomie der Emotionen

In dieser Diplomarbeit geht es darum, zu identifizieren, welche elektrokortikalen messbaren Veränderungen an der Hirnoberfläche bei verschiedenen Emotionen stattfinden. Die Potentialveränderungen an der Oberfläche stellen jedoch nur ein indirektes Abbild der Ereignisse dar, die bei Emotionen im Gehirn ablaufen – ähnlich Platons Höhlenschatten. Ganz so „dunkel“ ist es heute in den Neurowissenschaften nicht mehr dank der bildgebenden Verfahren, die es erlauben auch in tieferen Schichten des Gehirns Strukturen und deren Aktivierungen in vivo sichtbar zu machen. Die ersten neuroanatomischen Erkenntnisse über Emotionen stammen aber noch durchwegs aus post mortem Untersuchungen und der Läsionsforschung. Trotzdem es sich im Rahmen dieser experimentellen Arbeit um oberflächliche Potentialveränderungen handelt, so soll doch auch ein Blick darunter mittels sLORETA stattfinden, um ein wenig Klarheit bezüglich der neuronalen Generatoren der gemessenen Potentialveränderungen zu bringen. Welche kortikalen und subkortikalen Strukturen dabei interessant werden könnten, bzw. welche generell an Emotionsprozessen beteiligt sind, davon handelt dieses Kapitel.

5.1 Emotionen und das Limbische System

Der „Klassiker“, dem Emotionen im Gehirn zugeschrieben werden, ist das Limbische System. Aber was ist das Limbische System eigentlich genau? Ist es eine anatomische Entität, eine funktionell zusammenhängende Struktur oder gar beides? Es ist eigentlich keines von beiden, seine Funktion, die beteiligten Strukturen und seine Begrenzungen sind seit seiner Entdeckung bzw. Benennung einer ständigen Revidierung, Erweiterung und in letzter Zeit auch Kritik unterworfen. Ursprünglich wurde das LS als anatomische Einheit betrachtet (Broca, 1878, „Le grand lobe limbique“) – erst später entdeckte man die Funktionen des Systems bzw. der einzelnen Strukturen. Vor allem Papez 1937 war es, der dem LS funktionale Beteiligung an emotionalen Prozessen zuschrieb. Der Papez'sche Zirkel ist ein von Papez postulierter emotionaler Regelkreis, der verschiedene limbische Strukturen, wie Hypothalamus oder Mamillarkörper beinhaltet. Jakovlev fügte 1948 die Amygdala als „emotionale“ Struktur hinzu und 1952 verband McLean den medialen Papez'schen Kreislauf mit baso-lateralen Strukturen und nannte es in seiner Gesamtheit erstmals *Limbisches System* (LS). So wurde aus einer ursprünglich anatomischen Struktur ein funktional zusammenhängendes System. Die Sinnhaftigkeit das LS als Einheit zu betrachten, sei es nun in Bezug auf seine Anatomie oder Funktionalität, wird in den letzten Jahren aufgrund der neueren Erkenntnisse in den Neurowissenschaften bezweifelt. Denn weder funktional, noch anatomisch oder histologisch stellt dieses System tatsächlich eine homogene Einheit dar (Watt, 1998). Das LS ist ein Konglomerat von Gehirnkernen mit telencephalen Anteilen um das

Corpus Callosum, sowie den medialen Temporallappen und einer Reihe von Strukturen vom Stamm- bis zum Vorderhirn. Im Laufe der Zeit „shifteten“ die Grenzen des LS und bis heute gibt es keine klare empirische Definition, wo es beginnt und wo es endet. *„The architecture and connectivity issues alone are formidable, as the borders of the limbic system are vague and have been extended decade by decade like the erosion of a vast neural shoreline.“* (Watt, D.F. 1998). In der empirischen Forschung lassen der neueste Wissensstand und die technische Entwicklung den vereinheitlichenden Begriff des LS als Ort emotionaler Prozesse überflüssig erscheinen. Kreisläufe und Strukturen können genauer und diffiziler erfasst werden, viele unterschiedlich Strukturen sind in verschiedener Art und Weise an Emotionen beteiligt – auch Bereiche außerhalb des LS, wie im nächsten Kapitel 5.2 „Strukturen und Kerngebiet im Gehirn und ihre Funktionen bei emotionalen Prozessen“ dargelegt werden wird. Nichtsdestotrotz wird nach wie vor der Begriff LS verwendet. Sicher zum Teil aus Tradition und der Einfachheit halber – mit einem einzigen Begriff erfasst man eine Reihe subkortikaler Strukturen, die im gleichen Atemzug mit Emotionen assoziiert werden. Und ein paar Gemeinsamkeiten dieser Strukturen, die sich vom Vorder- über das Mittel- bis zum Hinterhirn erstrecken, gibt es ja doch. So besitzen alle Komponenten des LS Verbindungen, die es möglich machen, Verhalten oder autonome Reaktionen zu beeinflussen. Auffallend ist außerdem die hohe Konzentration an Neuromediatoren, meist Neuropeptide, in den Nervenzellen des LS (Niewenhyus, 1996). Diese Neuromediatoren spielen u.a. bei emotionalen Prozessen eine wichtige Rolle (siehe Kap. 6.2, S. 43).

Abb.: Limbisches System

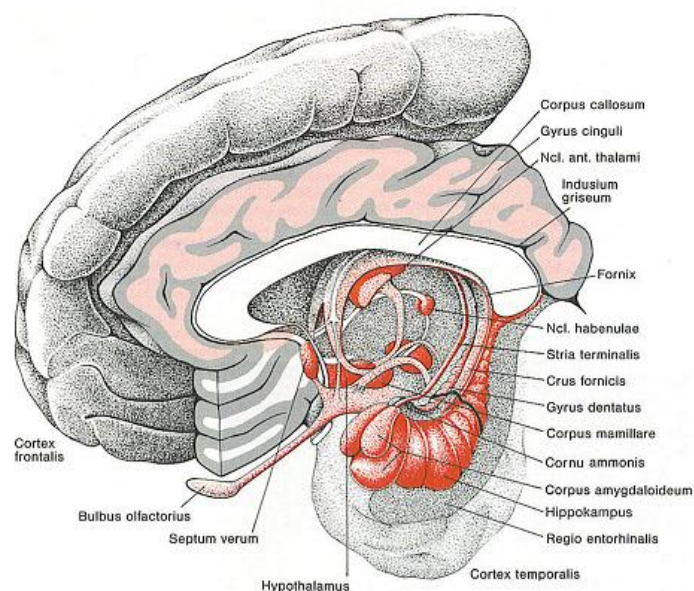


Abbildung entnommen aus Birbaumer, Schmidt, 1999; „Biologische Psychologie“, S. 463

5.2 Funktionelle Neuroanatomie der Emotionen: Strukturen und Kerngebiete im Gehirn und deren Funktionen bei emotionalen Prozessen

Das LS an sich als Zentrum der Emotionen zu bezeichnen ist aus Sicht der heutigen Forschung zu undifferenziert. Gibt es auch bezüglich der genauen Emotionskreisläufe noch etliche Ungereimtheiten, so ist man sich im Großen und Ganzen doch einig darüber, dass zumindest die beiden Hauptmotivations- und Emotionssysteme (positiver und negativer Affekt) von verschiedenen neuronalen Kreisläufen vermittelt werden. Zu den Strukturen im Gehirn, darunter viele wenn auch nicht ausschließlich des LS, die an diesen Kreisläufen beteiligt sind, zählen: der Präfrontale Cortex, die Amygdala, Teile der Basalganglien, der Gyrus Cinguli, Insula, Hypothalamus, und der Nucleus Accumbens. Einige dieser Strukturen spielen bei beiden Kreisläufen eine Rolle, andere wiederum nur bei positivem oder negativem Affekt (Davidson, 1998).

5.2.1 Die Amygdala

Im Rahmen der Emotionsforschung wurde dieser Struktur in den letzten Jahren die größte Aufmerksamkeit entgegengebracht. Die Mandelkerne oder Amygdala bestehen aus einer Reihe von Nuclei bilateral im medialen Temporallappen.

Die Amygdala ist beteiligt an der Evaluation bedeutender, sprich emotionaler, Reize für das Individuum und dessen Reaktion darauf. Im Verlauf zahlreicher Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Amygdala eine Schlüsselstelle bei negativen emotionalen Prozessen, wie Ärger, Ekel oder Trauer einnimmt (Gorno-Tempini et al., 2001). Allerdings sei an dieser Stelle auch eine neue Studie von Kipps et al., 2007, erwähnt, die eine direkte Beteiligung der Amygdala beim Erkennen positiven Gesichtsausdruckes postuliert, was darauf schließen lässt, dass die Amygdala generell bei Emotionsprozessen wichtig ist. Ihre bekannteste Rolle spielen die Mandelkerne aber bei Furcht und Angst, vor allem bei Furchtkonditionierung. Die Amygdala erhält und integriert Information über den konditionierten Stimulus, seinen Kontext sowie den internen Status und kontrolliert außerdem die verschiedensten konditionierten Reaktionsnetzwerke im Hirnstamm (Armony, LeDoux, 2000).

Schnelle und langsame Informationen für die Amygdala:

Ein akustisch konditionierter Reiz wird über die Hörbahn erst einmal zum auditorischen Thalamus, dem Corpus geniculatum medialis (medial geniculate body, MGB), geleitet. Von dort erreicht die Information die Amygdala auf zwei parallelen Wegen. Der eine direkt, vom mittleren Teil des MGB und dem Nucleus intralaminaris posterior (PIN) zur Amygdala, der andere indirekt, vom MGB zum auditorischen Cortex

und über verschiedene corticocortikale Verbindungen schließlich zur Amygdala. Ähnliches gilt für andere sensorische Systeme, die Reizinformationen gelangen auf zwei Wegen, wenn auch über andere sensorische Thalamuskern und cortikale Areale, zur Amygdala. Während die Informationen des „quick and dirty way“ (LeDoux, 1991) zwar schnell aber eher unpräzise sind, ist es beim indirekten cortikalen Weg umgekehrt, langsamer, aber dafür genau. Im Lateralen Kern (LN, lateral nucleus) der Amygdala werden die Inputs aus Thalamus und Cortexarealen zusammengeführt. Der LN bildet die „Inputregion“ mit Integrationsfunktion, der Zentrale Kern (CN, central nucleus) dagegen die „Outputregion“ der Mandelkerne. Er ist eine Schnittstelle zu den motorischen Systemen, die in die Kontrolle von konditionierten Verhaltensmechanismen eingebunden sind. Über diese Verbindungen zu motorischen und autonomen Systemen ist es der Amygdala möglich, sofort bei Eintreffen eines möglicherweise relevanten Reizes, eine Verhaltensreaktion zu initiieren, noch bevor, oder bzw. eigentlich während, in den primären und assoziativen sensorischen Rindenfeldern eine genauere Evaluierung des Reizes erfolgt. Diese Information wird dann wieder den Mandelkernen zugeführt, woraufhin die bereits eingeleitete Reaktion auf ihre Angemessenheit überprüft und neu abgestimmt werden kann. Besonders interessant ist dabei die Rolle, die die Amygdala bei Wahrnehmung und selektiver Aufmerksamkeit spielt. Werden die Mandelkerne durch cortikale oder thalamische Information zu einem relevanten Reiz erregt, so beginnen sie die cortikale sensorische Verarbeitung indirekt zu beeinflussen, indem sie „arousal“- Netzwerke, wie die cholinergen Systeme des basalen Vorderhirns und des Hirnstammes oder das noradrenerge Locus Coeruleus System, stärker aktivieren. Folglich ist die Amygdala damit auch in Prozesse zur selektiven Aufmerksamkeit bei emotional wichtigen Reizen involviert. Amygdaloide Projektionen erleichtern die sensorische Verarbeitung relevanter Stimuli in den zuständigen Cortexarealen.

Um die neuralen Mechanismen, die während Angstprozessen ablaufen, besser nachvollziehen zu können, simulierten die Forscher Armony und LeDoux (2000) diese Prozesse anhand neuronaler Netze am Computer. Dabei zeigte sich, dass die Computersimulationen mit Studiendaten aus Tierversuchen übereinstimmten, sogar bei unerwarteten Ergebnissen, wie z.B. der Erkenntnis, dass es bereits auf Ebene der thalamo-amygdaloiden Verbindung zu einer gewissen Reizdiskrimination kommt, bzw. die Elimination des cortikalen Projektionsweges nicht zu einer Generalisierung ähnlicher Stimuli führte. Trotz des Wegfalls der cortikalen Information für die Amygdala war es im Computermodell, wie Tierversuch, möglich Reizdiskrimination und adäquate Reaktionen zu beobachten. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch Studien mit bildgebenden Verfahren, in denen die Amygdala als erste Diskriminationsstation bei der Evaluierung emotionalen Gesichtsausdruckes identifiziert wurde (Whalen et al., 1998; Morris, Öhmann, Dolan, 1998). Ermöglicht wird Diskrimination in der Amygdala durch

spezielle Zellen im LN, die lernen können, zwischen unbedeutenden und wichtigen, emotionalen Stimuli zu unterscheiden.

Lernen und neuronale Plastizität in der Amygdala:

In den Zellen des LN tritt neuronale Plastizität, die molekulare Grundlage des Lernens, auf. Infolge von Konditionierungsprozessen ließen sich Plastizitätsänderungen am akustischen Cortex (Weinberger, Diamond, 1987; Edeline, Weinberger, 1993), in thalamischen auditorischen Arealen (Gabriel et al, 1976; Ryugo, Weinberger, 1978; Edeline, Weinberger, 1992) und der Amygdala selbst beobachten. Im LN zeigten manche Zellen bei Konditionierung schon nach relativ kurzer Latenzzeit (10 - 20 ms nach dem Ton) Modifikationen (Quirk, Repa, LeDoux, 1995). Neuronale Plastizität, oder Veränderungen der synaptischen Transmission, im Bereich der thalamo-amygdaloiden Verbindung konnte auch bei Versuchen mit Langzeitpotenzierung (LTP, long term potentiation) erzielt werden (Clugnet, LeDoux, 1990; Rogan, LeDoux, 1995). Dabei werden die zu untersuchenden Verbindungen tetanisch (mit hoher Frequenz) gereizt und anschließend die zellulären Reaktionen, die aufgrund verstärkter synaptischer Transmission erhöht sein sollten, auf niederfrequente Reizung untersucht. Es zeigte sich, dass „natürliches Lernen“, bzw. Konditionierung, LTP-ähnliche synaptische Veränderungen in der Amygdala hervorruft. Neurochemisch spielen dabei Glutamat bzw. seine AMPA (α -Amino-3-hydroxy-5-Methyl-4-Isoxazolpropion-Säure)- und NMDA (N-Methyl-D-Aspartat)- Rezeptoren eine Rolle.

Gedächtnisfunktion der Amygdala:

Der Umstand, dass in der Amygdala neuronale Veränderungen aufgrund Lernens möglich sind, lässt sie auch mit Gedächtnisfunktionen in Verbindung bringen. Tatsächlich scheint diese Kernstruktur an Prozessen des impliziten Gedächtnisses beteiligt zu sein. Die Speicherung emotionaler Erinnerungen erfolgt über die Amygdala (J. L. Armony, J. LeDoux, 2000). Genauer gesagt wird der emotionale Gehalt eines Ereignisses oder eines Reizes unbewusst, implizit, memoriert. Auch das Wiedererinnern erfolgt automatisch und wird anhand von „trigger“- Reizen ausgelöst. Im Gegensatz dazu werden Erinnerungen an Emotionen im deklarativen Gedächtnis, gesteuert vom medialen Temporallappensystem mit dem Hippocampus, gespeichert. Dass diese zwei Gedächtnissysteme unabhängig voneinander bei der Speicherung unterschiedlichen emotionalen Inhaltes arbeiten, ist anhand von Läsionsstudien zu erkennen. Ausfälle in der Amygdala gehen einher mit Störungen beim Wiedererinnern impliziter emotionaler Gedächtnisinhalte, aber nicht bei expliziten Erinnerungen an Emotionen. Hier kommt es durch Läsionen des medialen Temporallappensystems zu Problemen. Allerdings tauchen in Studien Hinweise auf, dass die beiden Systeme zwar prinzipiell unabhängig aber doch parallel zueinander arbeiten. Erlebnisse mit oder ohne emotionalen Inhalt werden demnach beide über das mediale Temporallappensystem gespeichert, jedoch bei ersterem unter Beteiligung (s.o.) der Amygdala.

Allgemein bekannt ist, dass Erlebnisse mit emotionaler Beteiligung besser erinnert werden, als nichtemotionale Ereignisse. Dieser Effekt entfällt, wenn es Schädigungen der Amygdala gibt (McGaugh, Cahill, and Roozental, 1996, nach Armony, LeDoux, 2000). Einfluss muss die Amygdala folglich auch bei Prozessen des Arbeitsgedächtnisses haben, wenn es um emotionale Reize geht. Über Verbindungen der präfrontalen Regionen, sensorischer Areale und Systeme des expliziten Langzeitgedächtnisses im Temporallappen, werden im Arbeitsgedächtnis aktuelle Reize und Gedächtnisinhalte integriert. Bei Gefahrenreizen kommt zusätzlich Information aus den Angstsystemen der Amygdala. Dieser Zusatzinput im Arbeitsgedächtnis ist wahrscheinlich auf Ebene des Bewusstseins für das subjektive Erleben des Angstgefühls verantwortlich (J. L. Armony, J. LeDoux, 2000).

5.2.2 Der Gyrus Cinguli

Über dem Corpus Callosum erstreckt sich der Gyrus Cinguli (GC). Cytoarchitektonisch wie funktional lässt sich diese Region in zwei Teile trennen. Der posteriore GC zeichnet mitverantwortlich für visuell-räumliche Funktionen sowie Gedächtnisprozesse durch Verbindungen zum Hippocampus. In Bezug auf Emotionen ist allerdings der anteriore GC (AC, anterior cingulate) von Interesse. Die „affect division“ (Vogt, 1993) des AC umfasst die Brodmann Areale 24, 25 und 32. Starke reziproke Verbindungen gibt es zur Amygdala, sowie zum Periventrikulären Grau (PAG, periaqueductal grey), zu autonomen Kernen im Hirnstamm und den motorischen Zentren. Anhand dieser Verknüpfungen lassen sich bereits die vielfältigen Funktionen, an denen der AC mitwirkt erkennen. Unter anderem ist er beteiligt an der Regulation autonomer und endokriner Vorgänge, an motorischen Funktionen und nicht zuletzt an emotionalen Prozessen. Auch eine nozizeptive Komponente wird durch Studien belegt.

Eine entscheidende Rolle scheint der AC bei Motivation und zielgerichtetem Verhalten zu spielen (Devinsky et al., 1995). Vor allem über seine Verbindungen zur Amygdala ist der AC beteiligt an der Enkodierung emotionaler und motivationaler Information. Im Tierversuch ließ sich nachweisen, dass spezielle Neurone im AC nur bei biologisch signifikanten Objekten feuern (Ono, Nishijo, 2000). Bei elektrischer Stimulation des AC kommt es zu emotionalen Reaktionen wie Angst, Agitiertheit oder auch Wohlbefinden (Meyer et al., 1973; Baucaud, Talairach, 1992). Aus Läsionsstudien beim Menschen wurde die Wichtigkeit des AC für soziales Verhalten erkennbar. Verletzungen im vorderen Bereich des GC können eine Reihe verschiedener Verhaltensänderungen nach sich ziehen. Patienten mit Tumoren oder anderen Läsionen im AC zeigen apathisches aber auch enthemmtes Verhalten, Depressionen, erhöhte oder verminderte Aggressivität, emotionale Abstumpfung, verringerte Motivation, erhöhte Angstbereitschaft und obsessiv-kompulsives Verhalten wären ebenfalls Symptome. Sogar Bulimie und andere Essstörungen werden mit einer Störung im Bereich des cingulären Cortex in Verbindung gebracht (Zusammenfassung der Störungsbilder nach: Devinsky et al., 1995).

Im Rahmen von Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren konnte eine erhöhte Durchblutung im AC während des Erinnerns an emotionale Ereignisse festgestellt werden (George et al. 1995; Lane et al. 1997), bei experimentellen procaininduzierten Halluzinationen und im REM-Schlaf kommt es ebenso zu signifikant erhöhten Durchblutungsraten im AC. Im Gegensatz zur Amygdala scheint der AC eher Relevanz bei der Generierung von Emotionen ohne exterozeptiven sensorischen Reizinput zu haben. In diesem Zusammenhang steht vielleicht auch die Rolle des AC als eine Station der Reaktionsauswahl und Entscheidungsinstanz. Sprachstudien zeigen eine erhöhte Durchblutung beim Produzieren von Wörtern, welche nicht als Folge spezifischer Sprachfunktionen sondern als Beitrag zur Auswahl von Wörtern interpretiert wird. Auswahlfunktion wird dem AC auch im Rahmen der Motorik zugeschrieben. Grundsätzlich hat er in diesem Bereich prämotorische Funktion und ist beteiligt an kognitiven Prozessen, die Bewegungen vorangehen und Reaktionen die mit Affekt gekoppelt sind. Dabei agiert er möglicherweise als integrative Station, die Inputs aus „emotionalen“ Arealen und dem Präfrontalen Cortex in entsprechende Bewegungspläne transformiert (Ono, Nishijo, 2000). Läsionen des AC können zu Störungen dieser komplexen motorischen Reaktionen auf emotionaler Basis, wie zum Beispiel des Vermeidungsverhaltens, führen (Gabriel et al. 1991).

5.2.3 Die Basalganglien

Die Basalganglien sind wohl eine der funktional vielseitigsten Strukturen des Gehirns. Bestehend aus Nucleus Caudatus, Putamen (beides zusammen wird als Striatum bezeichnet) und Globus Pallidus, sind sie nicht nur essentiell an motorischen Funktionen sondern darüberhinaus auch an kognitiven, motivationalen und emotionalen Prozessen beteiligt. Die Rolle der Basalganglien besteht dabei in der Auswahl und Umsetzung emotionaler Reaktionstendenzen (Birbaumer, Schmidt, 1999). Informationen über Reize mit Belohnungs- oder Bestrafungswert werden nach Evaluation in Amygdala und orbitofrontalem Cortex an den Nucleus Accumbens und Striatum weitergeleitet. Über diesen Weg kommt es zu einer impliziten, emotionalen Reaktionsantwort. Z. B. authentisches emotionales Lächeln entsteht über diese Route, wobei zum Teil andere Muskelgruppen im Gesicht innerviert werden, als bei einem „künstlichen“ Lächeln (Damasio, 1997). Beim Eintreffen konkurrierender Information in den Basalganglien, wird dort über sukzessive inhibitorische Kompression die wichtigste Information oder der stärkste Kanal ausgefiltert.

Zudem garantiert neuronale Plastizität in den Basalganglien eine möglichst rasche Reaktion z. B. auf einen Gefahrenreiz. Eine einmal hergestellte Verbindung zwischen einem Reiz und einer Verhaltensantwort, wie Flucht, kann aufgrund der „lernfähigen“ Basalganglienzellen, schon bei Auftreten eines ersten Hinweises auf die entsprechende Reizsituation ausgelöst werden.

Bezogen auf eine bestimmte Emotion, scheint es so zu sein, dass die Basalganglien, genauer gesagt der Nucleus caudatus, bei Ekel eine spezielle Aufgabe übernehmen. Patienten, die unter Chorea Huntington leiden, zeigen spezifische Ausfälle beim Erkennen des Gesichtsausdruckes für Ekel. Calder et al. beschrieben 2000 einen Patienten, der nach einem linksseitigen Hirninfarkt mit Beeinträchtigungen der Insula, des Putamens, Globus Pallidus und Nucleus caudatus Defizite bei der Identifizierung diverser Reize für Ekel ausbildete (nach: Gorno-Tempini, 2001). Erwähnt sollte allerdings auch werden, dass, trotz dieser Befunde, die Rolle der Basalganglien punkto Ekel nicht gänzlich geklärt ist, zumal eine PET- Studie (Phillips et al. 1998) nicht den Nucleus caudatus sondern die Insula als Ort für die Emotion Ekel (siehe auch Kap. 5.2.6. „Die Insula“, S. 35, oder Kap. 8.5.2 , „Ekel“, S. 62) ausweist.

5.2.4 Der Präfrontale Cortex (PFC)

An verschiedensten bzw. eigentlich an allen Aspekten von Kognitionen, Emotionen und Verhalten ist der PFC erheblich beteiligt. Er unterhält reziproke Verbindungen zu Thalamus (mediodorsaler Nucleus des Th.), Hypothalamus, der Amygdala, Strukturen des Limbischen Systems, dem Gyrus Cinguli, der mesencephalen Formatio Reticularis (MFR), nicht primären sensorischen und motorischen corticalen Arealen und olfaktorischen Regionen. Zudem projiziert er in die Basalganglien und den Hippocampus. Aufgrund dieser zahlreichen Verbindungen stellt der PFC eine Art koordinierende Integrationsstelle dar. Das macht ihn zum Schauplatz von Aufmerksamkeits-, Regulations-, Lern-, Gedächtnis- und Emotionsprozessen. Er sorgt für die Zuwendung von Aufmerksamkeitsressourcen und gilt als Ausgangsort exekutiver Funktionen. Der PFC wird neuroanatomisch in verschiedene Areale eingeteilt:

- der VLPFC (ventro-laterale PFC) umfasst die Brodmann-Areale 45 sowie Teile von BA 47 u. 12
- der DLPFC (dorso-laterale PFC) BA 9 u. 46
- der anteriore oder frontopolare PFC, BA 10
- der OFC (Orbitofrontalcortex), BA 10, 11, 12, 13 u. 14 (Insula), 45, 47
- der FMPFC (fronto-medialer PFC) mit dem anterioren cingulären Cortex (ACC), BA 24, 25
- das frontale Augengfeld (BA 8)
- das sprachmotorische Broca-Areal (BA 44)

Im Bereich der Emotionen wird dem PFC eine Affektregulations- und Kontrollfunktion zugeschrieben (Cooney et al., 2007). So steht beispielsweise die Reduzierung des Blutflusses in der medialen Präfrontalregion im Zusammenhang mit subjektiv empfundener Angst (Simpson et al., 2001). Je stärker

die Abnahme der rCBF desto weniger Angst verspürt man. Bei Läsionen in diesem Bereich kann es dazu kommen, dass Betroffene nicht mehr fähig sind, Stimmungswechsel, Angst oder Apathie zu empfinden (Paradiso et al., 1999). Wird hingegen der laterale PFC verletzt, bleibt die Fähigkeit negative Emotionen zu spüren nach wie vor intakt. Allerdings führen derartige Läsionen zu Störungen der Emotionsregulation und des Antriebs. Die emotionale Selbstregulation basiert nach Bearegard et al., 2001, auf neuralen Kreisläufen im PFC unter Beteiligung subkortikaler limbischer Strukturen. Im dazugehörigen Experiment zeigten die Versuchspersonen, die während des Betrachtens erotischer Filmclips jegliche Gefühle unterdrücken mussten, neben Aktivierungen limbischer Strukturen auch Aktivitätssteigerungen im rechten superioren frontalen Gyrus und rechten anterioren Gyrus Cinguli. Diese frontale rechtshemisphärische Aktivität fehlte bei der Versuchsgruppe, die keine Emotionen unterdrücken musste. Eine Voraussetzung für emotionale Selbstregulation und Kontrolle bildet der Aufbau von stabilen Erwartungshaltungen. Der PFC stellt dabei die kontingente Verbindung zwischen Verhalten und seinen Konsequenzen her, auch wenn diese zeitlich nicht direkt an die Reaktion gebunden sind und erst später relevant werden. Dieser im PFC generierte Verstärkeraufschub ist notwendig um Verhalten im sozialen Kontext zu planen und Grundvoraussetzung für die Selbstkontrolle. Bei Läsionen sind daher meist weder motorische noch intellektuelle Fähigkeiten betroffen, wohl aber kommt es zu tiefgreifenden psychischen und sozialen Auffälligkeiten, wie von A. R. Damasio (1997) in einer der bekanntesten Einzelfallbeschreibungen dokumentiert. Der Patient Phineas Gage zeigte sich infolge seiner präfrontalen Hirnverletzung unfähig einer geregelten Arbeit wie einem sozialen Leben nachzugehen, obwohl keine Ausfälle bei höheren kognitiven Leistungen zu erkennen waren. Am bemerkenswertesten erschien, dass P. G. zwar in Testsituationen durchaus in der Lage war adäquate Entscheidungen zu treffen und Pläne in richtiger zeitlicher Abfolge zu erstellen, er versagte jedoch, sobald es darum ging im Alltag sein eigenes Leben zu planen. Menschen mit präfrontaler Schädigung gelingt es nicht mehr beeinflussende Signale zu aktivieren, die als Entscheidungshilfen für Verhalten mit zukünftigen negativen oder positiven Auswirkungen fungieren. Bechara et al. (1996) fanden, dass Patienten mit Läsionen des ventralen PFC anscheinend keine antizipatorische Konditionierung ausbilden, weshalb sie unfähig seien zukünftiges Geschehen in all seinen Konsequenzen abzuschätzen. Liegt eine Läsion dagegen im Bereich des medialen PFC vor, sind wiederum Lösungs- oder Extinktionsprozesse erheblich behindert (Bechara et al., 1999).

Beim Lernen durch Nichtbelohnung kommt es zu starken Defiziten, wenn Störungen des Orbitofrontalcortex (OFC) vorliegen (Rolls, 1996). Die Betroffenen können ihr Verhalten nicht mehr adäquat einer geänderten Verstärkerkontingenz anpassen. Ergebnisse aus verschiedenen Studien zeigen, dass der OFC an der Dekodierung mancher primärer Verstärker, wie z. B. des Geschmacks, dessen sekundäres Areal im OFC liegt, beteiligt ist (Rolls, 2005). Außerdem sorgt er für Lernen wie

Verlernen von Assoziationen zwischen Reizen und primären Verstärkern und übt in weiterer Folge eine Exekutivfunktion bei Kontrolle und Korrektur von Verhalten aus, welches auf Belohnung oder Bestrafung basiert. Zur neuralen Repräsentation von Belohnung und Bestrafung gibt es, nach einer Studie von Small et al. (2001), eine Differenzierung im OFC. So geht Aktivität im caudomedialen OFC einher mit positiver Valenz während der dorsolaterale OFC stärker erregt ist bei negativer Valenz.

Der posteriore OFC (pOFC) stellt eine zentrale Schnittstelle für Informationen über externe Reize aus der Umwelt und ihren emotionalen Kontext dar (Barbas, 2007). Der pOFC unterhält extensive Verbindungen zu den anterioren temporalen sensorischen Assoziationscortices und der Amygdala. Die temporalen Assoziationsareale liefern Informationen über Externes, während die Amygdala den emotionalen Kontext hinzufügt. Über zwei verschiedene Projektionsbahnen zur Amygdala ist der pOFC an der Entscheidung bezüglich einer Verhaltensreaktion mitbeteiligt. Abhängig von dem, von der Amygdala „gemeldet“, emotionalen Kontext unter Einbeziehung lateraler präfrontaler Areale, kann der pOFC inhibitorisch oder exzitatorisch auf emotionales Arousal wirken. Wird der Projektionsweg zum zentralen Nucleus der Amygdala innerviert, kommt es zu einer Inhibierung zentraler autonomer Strukturen bis zum Zustand der autonomen Homöostase. Gegenteiliges bewirkt die Projektionsbahn zu den „inhibitory intercalated masses“ der Amygdala. Von dort aus werden zentrale autonome Strukturen enthemmt.

5.2.5 Der Nucleus Accumbens (NAc)

Der NAc ist eine kleine Kernstruktur ventral des N. caudatus und bildet mit diesem und dem Putamen das Fundus Striatum. Er spielt eine wichtige Rolle innerhalb des positiven Verstärkersystems im Gehirn. Dabei stellt er eine zentrale Anlaufstelle opioidhaltiger Faserzüge dar, welche wahrscheinlich für die positive affektive Tönung von Belohnungsreizen sorgen. Zum komplexen Netz des Belohnungssystems gehören auch dopaminerge Neurone im NAc. Das Gehirn signalisiert „Belohnung“ wenn Dopamin (DA) im NAc freigesetzt wird. Aktivität zeigt sich im NAc also immer dann, wenn das Belohnungssystem aktiviert wird. So zum Beispiel auch beim Betrachten attraktiver Gesichter, die anscheinend für das Gehirn im Bereich sozialer Beziehungen eine Art Belohnungswert darstellen (Aharon et al., 2001).

Der NAc als zentrale Stelle innerhalb dieses Belohnungssystems steht außerdem in engem Zusammenhang mit jeder Art abhängigen Verhaltens. Nicht nur Abhängigkeit von Drogen oder anderen Genusssubstanzen, wie Alkohol, gehen auf Veränderungen innerhalb dieses Systems zurück. Es wird sogar angenommen, dass Personen, bei denen aufgrund genetischer Ursachen zu wenig DA-Rezeptoren im NAc ausgebildet wurden, ein höheres Risiko für verschiedenste Arten von Abhängigkeiten, wie Nikotin- oder Spielsucht, aber auch für impulsive psychische Störungsbilder wie

Tourette- Syndrom, antisoziales Verhalten oder Autismus aufweisen (Blum et al., 2000). In Tierversuchen ließ sich zudem nachweisen, dass eine Blockade der DA- Rezeptoren, vornehmlich im NAc, zu einer Störung positiven Reaktionsverhaltens und Dysphorie führen (Voruganti et al., 2001).

5.2.6 Die Insula

Die Insula (BA 13, 14), Inselrinde oder auch Lobus insularis, ist Teil des OFC und befindet sich eingesenkt hinter dem Temporallappen. Die Opercula ¹ bedecken die Insula, sodass sie, von außen betrachtet, nicht sichtbar ist. Das kleine Cortexareal unterhält Affenzen zu den autonomen Zentren und Efferenzen zu Hirnregionen, die für die Regulation autonomer Reaktionen zuständig sind (Davidson, 1999). Die Insula scheint trotz ihrer Kleinheit äußerst vielseitig zu sein. Sie ist ein multisensorisches Rindenareal, das bei der Verarbeitung unterschiedlichster sensorischer Reize eine Rolle spielt.

Funktional ist die Insel in zwei Bereiche (Mesulam, Mufson, 1982; nach Wicker et al., 2007) geteilt:

- Der anteriore Teil fungiert als ofaktorisches/gustatorisches Zentrum, er ist beteiligt an viszerale Veränderungen und autonomen Reaktionen und erhält visuelle Information aus einem Teil des superioren temporalen Cortex, in dem sich Zellen befinden, die speziell der Gesichtererkennung dienen.
- Der posteriore Teil der Insula unterhält Verbindungen zu akustischen, somatosensorischen und prämotorischen Arealen.

Erwähnt sei auch noch ein weiterer insulärer Bereich (Olausson et al., 2003; nach Bartels, Zeki, 2004) – die mediale Insula. Sie besitzt vor allem im Rahmen positiven emotionalen Geschehens eine Bedeutung, speziell bei Berührungen. Zudem ist der mediale Teil der Insel offenbar beteiligt am Gefühl der Liebe – sowohl mütterlicher als auch romantischer (Bartels, Zeki, 2004). Immer mehr Studien deuten darauf hin, dass die Insula in Emotionsprozesse eingebunden ist. Vor allem mit dem Gefühl des Ekel wird die Insel, genauer - der anteriore Teil der Insel, in Verbindung gebracht. Bei Untersuchungen in denen Bilder mit ekelverzerrten Gesichtern dargeboten wurden, konnte eine höhere Aktivität in der anterioren Insel festgestellt werden (Wicker et al., 2003; Sambataro et al., 2006). Ebenso reagiert der anteriore Teil der Insula bei Vorgabe von Bildern mit ungustösem Inhalt, wie beispielsweise verdorbenem Essen (Calder et al., 2007; Wright et al., 2004), kurzen ekelinduzierenden Filmclips (Stark et al., 2007) und bei Vorgabe von ekelerregenden Gerüchen (Wicker et al., 2003). Das scheint aber nicht zu gelten, wenn Ekel über akustische Ekeläußerungen induziert wird – in diesem Fall zeigt

¹ lat.: Deckel; anatom.: Teile der Frontal-, Temporal-, und Parietallappen, die den Inselcortex überlagern

sich keine Aktivitätssteigerung in der anterioren Insula (Phillips et al., 1998). Nun ist Ekel aber nicht die einzige Emotion bei der die Insel verstärkt aktiv ist. Auch bei Angst und Furcht gibt es Hinweise (Schienle et al., 2002; Dilger et al., 2003), dass dieser Teil des Gehirns eine Rolle spielt. Paulus et al. (2006) konnten eine rechtsseitige Hyperaktivität in der anterioren Insula bei Angstsymptomen nachweisen. Im Zusammenhang mit Angststörungen steht auch die Unfähigkeit mit ambivalenten Situationen und Gefühlen umgehen zu können. In einer Untersuchung von Simmons et al. (2008) korrelierte der IUS – Score (Intolerance of Uncertainty Scale) signifikant mit einer bilateralen Aktivitätssteigerung der Insula. Was emotionale Prozesse im Allgemeinen betrifft, weist eine Metaanalyse von insgesamt 55 PET - und fMRI – Studien (Phan et al., 2002) eine Insulabeteiligung bei emotionalen Erinnerungen bzw. Vorstellungen und emotionalen Aufgaben mit kognitiver Komponente aus. Im Zusammenhang mit der Beteiligung an emotionalen Prozessen der anterioren Insula (AIC) weist A. D. Craig (2009) dieser kleinen Hirnregion eine entscheidende Rolle für das Bewusstsein zu. Er postuliert auf Basis einer Reihe neuerer Studien, dass die Insula Repräsentationen aller interozeptiver Reize aufweist, also eine Art interozeptiven Homunculus darstellt. Diese interozeptiven Repräsentationen bilden die Basis für die Insula als Schnittstelle, in der der augenblickliche Zustand des Körpers, Informationen aus Amygdala und Hypothalamus, Umweltinformationen aus den entorhinalen und temporalen Polen, hedonistische (aus OFC, N. accumbens), motivationale, soziale und kognitive (aus ACC, VMPFC, DLPFC) Komponenten integriert werden. *„I propose that the integration of salience across all of these factors culminates in a unified final metarepresentation of the ‘global emotional moment’ near the junction of the anterior insula and the frontal operculum.”* Diese geballte Ladung an Informationen bildet die Grundlage für die bewusste Wahrnehmung von Emotionen, Kognitionen und Körperempfindungen. Vorläufige Beweise dafür lassen sich sowohl in diversen Läsionsstudien finden wie auch in Untersuchungen in denen dargelegt werden konnte, dass es im Moment des Erkennens und der bewussten Wahrnehmung zu einer plötzlichen Aktivitätssteigerung im AIC kommt (Craig, 2009)¹.

5.2.7 Hypothalamus

Diese im Diencephalon ventral des Thalamus gelegene Struktur ist nicht nur u.a. zuständig für autonome, endokrine Funktionen und die Aufrechterhaltung der körperinternen Homöostase, durch zahlreiche Verbindungen mit dem LS ist sie auch beteiligt an Lernvorgängen, Aufmerksamkeit, kognitiven Prozessen und nicht zuletzt an Emotionen.

¹ Der Autor weist in diesem Zusammenhang aber darauf hin, dass diese Hypothese noch eingehend anhand von EEG-Untersuchungen, wegen der besseren zeitlichen Auflösung, überprüft werden müsste.

Hauptaufgabe und Ausgangspunkt der Wirksamkeit des Hypothalamus liegen in Steuerung und Bildung von Hormonen sowie Neuropeptiden. Der Hypothalamus ist eng verbunden mit der Hypophyse, ein Regulationszentrum der Hormonsekretion. Auf dieser Basis zeichnet er u.a. verantwortlich für autonome und endokrine Veränderungen bei emotionalen Zuständen. Die Expression des emotionalen Zustandes wird wahrscheinlich über Verbindungen medialer präfrontaler und orbitofrontaler limbischer Bereiche zu hypothalamischen viszeromotorischen Zentren vermittelt (Barbas, 2000). Der Hypothalamus nimmt aber auch eine entscheidende zentrale Stelle innerhalb neuronaler Kreisläufe ein, die für aktive wie passive emotionale Coping-Strategien zuständig sind¹. Hier sind es Projektionen des PFC und des periventrikulären Graus (PAG) zu bestimmten Hypothalamuskernen, die vermuten lassen, dass bestimmte parallel ablaufende neuronale Kreisläufe aktive sowie passive Verhaltensstrategien und jeweils passende Erregungsmuster autonomer Aktivität vermitteln (Bandler et al., 2000). Liberzon et al., 2007, stellten fest, dass die humorale Antwort auf psychosoziale Stimuli, sprich der Adrenocorticotropinspiegel im Blut, im Gehirn mit einer Erhöhung des regionalen Blutflusses im dorsalen medialen PFC, dem rostralen anterioren Cortex Cinguli sowie der rechten Insula einhergeht. Bei Patienten mit posttraumatischem Psychosyndrom kovarierte zudem der Cortisolspiegel mit der rCFB im subgenualen anterioren Cortex Cinguli.

Entsprechend seiner Aufgaben, führen zahlreiche limbische Verbindungen zum Hypothalamus hin und von ihm weg. So ist er unter anderem die zentrale Anlaufstelle des medialen Vorderhirnbündels, welches das „Kommunikationssystem“ des medialen Vorderhirns bildet. Und über die Stria Terminalis wiederum beeinflusst die Amygdala den Hypothalamus.

Der Septum-Hypothalamus-Komplex wird als Sitz der neuronalen Generatoren phylogenetisch alter Triebe gesehen, Fehlfunktionen in diesem Bereich, wie sie durch pathologische Veränderungen bei Schizophrenie entstehen können, führen zu Entgleisungen der an hypothalamische Aktivitäten gebundenen primären Emotionen (Falkai et al., 1988).

¹ Aktive emotionale Coping- Strategien oder nach Cannon „Fight - Flight - Syndrom“, passive Coping- Strategien: Stillhalten, Bremsen, Erstarren.

6 Neurochemie der Emotionen

Emotionale Prozesse beruhen, wie auch alles andere im Gehirn, auf elektro - chemischen Vorgängen. Der Synergismus elektrischer und chemischer Komponenten in und an der Nervenzelle, v.a. an synaptischen Verbindungen, ist die molekulare Basis allen Verhaltens. Wahrnehmung, Informationsverarbeitung, Bewusstsein, Motorik, Gedächtnis, Lernen, Denken und Fühlen werden darauf aufgebaut. Hauptaugenmerk gilt in dieser Diplomarbeit natürlich der „elektrischen“ Seite. Da das eine aber nicht ohne das andere auskommt, ist dieses Kapitel der „chemischen Seite“ gewidmet.

Mittlerweile kennt man rund 100 verschiedene biochemische Substanzen, die als neuronale Botenstoffe genützt werden. Geschätzt wird aber, dass es über 200 Botenstoffe gibt und manche Forscher sprechen gar von mehreren tausend neuroaktiven Substanzen. Dabei unterscheidet man zwischen den klassischen Neurotransmittern und Neuropeptiden. Erstere sind kleine neuroaktive Moleküle, oft Monoamine, während die Neuropeptide aus etwa 2 bis 50 Aminosäuren bestehen und ihre Struktur direkt vom Genom kodiert wird. Über die Rolle bestimmter Transmittersubstanzen bei Emotionen geben vor allem Beobachtungen psychiatrischer Störungen, die Psychopharmakologie, Läsionsstudien und Tierversuche Aufschluss. In den letzten Jahren kommen auch noch Informationen durch Untersuchungen anhand bildgebender Verfahren wie PET (Positronenemissionstomographie) oder fMRI (functional magnetic resonance imaging) dazu, mit denen beispielsweise in vivo die Rezeptorendichte für eine bestimmte neurochemische Substanz oder das Bindungsverhalten eines interessierenden Botenstoffes bei einem bestimmten Verhalten dargestellt werden kann. Im Folgenden soll nun ein kurzer Überblick über die wichtigsten, verhaltensrelevanten Transmittersysteme gegeben werden.

6.1 Klassische Neurotransmitter

6.1.1 Noradrenalin (NA)- System

Die Bahnen des zentralen noradrenergen Systems nehmen ihren Anfang im Locus Coeruleus, eine Kernstruktur im Hirnstamm am Boden des 4. Ventrikels, und dem lateralen Tegmentum des Mesencephalons. Über zahlreiche Verbindungen modulieren die noradrenergen Bahnen den Erregungszustand der Neurone, die für höhere kognitive Verarbeitungsmechanismen verantwortlich zeichnen. NA- Zellen unterhalten u.a. Verbindungen zu Thalamus, Amygdala und zum Nucleus Raphe, dem Ausgangskern serotonerger Bahnen. Die Achse Amygdala - Locus Coeruleus ist eines der wichtigen Systeme bei der Reaktion auf relevante, emotionale Stimuli. Tritt ein von der Amygdala als wichtig eingestuft Reiz auf, so erhöht sich die Entladungsrate der Nervenzellen des Locus coeruleus, wodurch es zu einer verstärkten NA- Ausschüttung in den kortikalen Regionen kommt was folglich zu

erhöhter Aufmerksamkeit führt. Durch eine Verbesserung des Signal- Rausch- Verhältnisses, die Entladungen der für das Antwortverhalten relevanten Neurone werden verstärkt während die Hintergrundaktivität anderer Zellen gehemmt wird, steuert das noradrenerge System die selektive Aufmerksamkeit. Hinsichtlich dieser Funktion hat das noradrenerge System seine Wichtigkeit bei der adäquaten Verarbeitung von und Reaktion auf Angstreize(n). Dies lässt eine Beteiligung bzw. Dysregulation des NA- Systems bei Angst- sowie Panikstörungen vermuten, zumal auch Befunde der Psychopharmakologie dafür sprechen. Aus dieser Richtung stammt ebenfalls die Noradrenalin- Serotonin- Hypothese der Depression. Dass eine Fehlfunktion des zentralen NA- Systems an Symptomen von Angststörungen und Depressionen beteiligt ist, gilt als relativ sicher, nur in welcher genauen Form diese Fehlfunktion auftritt, scheint noch genügend Raum für weitere Untersuchungen zu lassen. Die Schwierigkeiten hinsichtlich der Interpretation pharmakologischer NA- Daten lassen sich u.a. mit der Differenziertheit noradrenerger Rezeptoren erklären, von denen einige starke autoregulatorische Funktionen aufweisen (J. Panksepp, 1986).

6.1.2 Dopamin (DA)- System

Eigentlich handelt es sich hierbei nicht um ein, sondern um drei, funktional und anatomisch unterscheidbare, Systeme. Das Nigro- Striatale DA- System spielt eine entscheidende Rolle im Rahmen der Motorik. Das zweite dopaminerge System, das tubero- infundibuläre oder Prolactin- System, ist beteiligt an der Regulation des Hormons Prolactin. Letztendlich das System, welches Relevanz bei Emotions- wie Denkprozessen hat, ist das Meso- limbo- corticale System (MLCS). Diese DA- Zellen entspringen in der Area tegmentalis ventralis. Von dort projizieren sie einerseits in die Septumkerne, den Nucleus accumbens sowie die Amygdala und andererseits in den Präfrontalen Cortex, den Gyrus Cinguli, Nucleus Piriformis und den entorhinalen Cortex. Die Funktion dieses DA- Systems könnte man, einfach formuliert, vorwiegend als verhaltensaktivierend bezeichnen. So ist es die „treibende“ Kraft beim sogenannten BAS (behavioral activation system) oder Annäherungssystem. Unter anderem spielt das dopaminerge MLCS auch eine Schlüsselrolle bei positiver Anreizmotivation. Dopaminerge Faserzüge innerhalb des Medial Forebrain Bundles (MFB), die die Strukturen des MLCS verbinden, bilden die anatomische wie neurochemische Grundlage für Anreizmotivation. Versuche zu bzw. die Entdeckung der ICSS (intrakranielle Selbstreizung) 1954 von Olds und Milner machten dies erstmals ersichtlich. Besonders gut lässt sich ICSS über die DA- Fasern des MLCS auslösen. Die übergroße Anreizmotivation bei der Entstehung von Sucht steht ebenfalls mit diesem System in Zusammenhang. Vermutet wird eine Sensitivierung der dopaminergen Nervenfasern. Toleranzentwicklung und Entzugerscheinungen basieren wahrscheinlich auf neuronalen Veränderungen der DA- Zellen. Mit einer Störung des dopaminergen mesolimbischen Kreislaufes ebenfalls assoziiert ist die Schizophrenie.

Die Dopaminhypothese dieser Psychose besagt, dass ein Ungleichgewicht der dopaminergen Transmission zur Entstehung der Krankheitssymptome beiträgt. Dafür sprechen Erfahrungen aus der Psychopharmakologie, zumal die Gabe von Neuroleptika, die hauptsächlich am D2- Rezeptor wirken, zu einer Besserung führen.

6.1.3 Serotonin- (5HT-) System

Das serotonerge System nimmt seinen Anfang in den ventralen und dorsalen Raphekernen der Formatio Reticularis. Neben Projektionen in das Kleinhirn sowie das Rückenmark sind hier vor allem die ventralen Raphenuclei eng mit dem Limbischen System verbunden. Sie innervieren Cortex, Thalamus, die Amygdala und über das Cingulum den Hippocampus. Das serotonerge System verhält sich antagonistisch zum NA- System des Locus Coreuleus, der reziprok mit dem, anatomisch nahegelegenen, Nucleus Raphe verbunden ist. Auf Verhaltensebene lässt sich die Wirkung dieses Transmittersystems generell als dämpfend beschreiben. Praktisch jede Art motivierten oder emotionalen Verhaltens, so zeigen zahlreiche pharmakologische Studien, kann gehemmt oder zumindest abgeschwächt werden, wenn die serotonerge Transmission erhöht wird (Vogt, 1982; nach J. Panksepp, 1986). Das serotonerge System ist auch an der Regulation von Stimmung beteiligt. Dabei zeigt sich, dass ein Mangel an Serotonin depressive Verstimmungen zur Folge haben kann. Allerdings scheint diese Hypothese nicht gesichert und die genaue Wirkung des Serotonins in diesem Zusammenhang noch nicht gänzlich geklärt. Außerdem spielt Serotonin eine Rolle bei Schmerzwahrnehmung und Schlaf. Serotonin wirkt schlafinduzierend, wird die Ausschüttung dieses Botenstoffes aus den Raphekernen pharmakologisch blockiert, kommt es zu Insomnie.

6.1.4 Zentrales Acetylcholin- (Ach-) System

Für die Bahnen des Ach- Systems gibt es zwei zentrale Ausgangspunkte. Im basalen Vorderhirn liegt der Nucleus basalis Meynert, dessen cholinerge Projektionsneurone weite Teile des Großhirns innervieren und Verbindungen zu Hippocampus und Amygdala herstellen. Gleichzeitig erhält der basale Kern wenige aber dafür streng lokalisierte Bahnsysteme aus bestimmten Kortexregionen und dem Limbischen System. Dieser Umstand macht ihn zu einer Schnittstelle zwischen emotionalen und kognitiven Verhaltenskategorien. Der zweite Ausgangspunkt für zentrale cholinerge Bahnen ist die mediale Retikulärformation, die Thalamus, Cortex und andere Regionen des Mittel- und Zwischenhirns versorgt. Im Zentralnervensystem wirkt Ach als Überträgerstoff meist exzitatorisch, jedoch wurden auch inhibitorische Synapsen v.a. im Bereich des Striatums festgestellt. Eine wichtige Aufgabe erfüllen die Neurone des Ach- Systems bei komplexer Informationsverarbeitung und höheren kognitiven

Funktionen. Welche Stellung Ach im Rahmen emotionaler Prozesse einnimmt ist noch unklar. Einiges deutet darauf hin, dass cholinerge Aktivität im Gehirn an bestimmten Emotionsprozessen beteiligt ist, so beispielsweise bei defensivem oder ängstlichem Verhalten. Dieses lässt sich im Tierversuch durch Applizieren von Cholinergika in subkortikale Regionen provozieren (Panksepp, 1986). Beim Menschen kann eine erhöhte zentrale cholinerge Aktivität Weinen mit tiefer Verzweiflung auslösen (Berger et al, 1979, nach: Panksepp, 1986). Im Gegensatz dazu ist Ach aber auch mit angenehmen emotionalen Zuständen verbunden. Elektrische Reizung cholinergischer Bahnen im Septum ruft positive Gefühle hervor.

6.1.5 Gamma- Aminobuttersäure- (GABA-) System

GABA ist wohl der wichtigste bekannte inhibitorisch wirkende Transmitter im Gehirn. GABAerge Interneurone üben eine Art Regulationskontrolle über die Aktivierungssysteme aus. GABA- Neurone kommen praktisch auf allen Ebenen des Zentralnervensystems vor, wobei Basalganglien, Cerebellum, Hippokampus, Thalamus, Hypothalamus und Schicht IV des Neocortex eine besonders hohe Dichte aufweisen. Für den Bereich der Emotionen fällt die Relevanz der gABAergen Transmission bei der Gabe von Benzodiazepinen auf. Benzodiazepine verstärken die hemmende Wirkung der GABA- A-Rezeptoren¹. Die angstlösenden und relaxierenden Eigenschaften der Tranquilizer oder Benzodiazepine lassen vermuten, dass gABAerge Neurone an nervösen Regulationsprinzipien von Angst und Vigilanz teilhaben. GABA inhibiert das noradrenerge Locus Coeruleus- System, welches bekanntlich besonders dann aktiv ist, wenn Aufmerksamkeit gefordert ist. Das GABA- System reguliert die Aktivität des NA- Systems. Wegen dieser hemmenden Eigenschaft sind Benzodiazepine meist erste Wahl bei der medikamentösen Behandlung von Angst- und Panikstörungen. Allerdings ist ihre Wirkung selektiv auf passives Vermeidungsverhalten bei Angststörungen beschränkt, also auf Frustrationssituationen, Orientierungsreaktionen auf neue Reize und Furcht vor Prepared- Reizen. Keine Hilfe sind Tranquilizer bei aktivem Vermeidungsverhalten und Reaktionen auf unkonditionierte Furcht- und Aggressionssituationen (nach: Birbaumer, Schmid, 2000).

6.1.6 Glutamat- System

In praktisch allen großen Projektionssystemen des Gehirns wird die Aminosäure Glutamat als erregender Botenstoff verwendet. Eine Häufung glutamaterger Zellen findet man vor allem im Neocortex, Hippokampus, Striatum und in limbischen Kernen. Glutamat ist beteiligt an Informationsverarbeitung, Reizanalyse und Gedächtnisprozessen. Bei letzterem spielen vor allem die

¹ Neben dem GABA- A- Rezeptor konnte auch der GABA- B- Rezeptor identifiziert werden. Wahrscheinlich existieren auch noch andere GABA- Rezeptoren, deren Wirkung unterschiedlich sein dürfte.

NMDA- und AMPA- Rezeptoren für Glutamat eine entscheidende Rolle. Ihre „Entblockierung“ infolge tetanischer oder assoziativer Reizung hat eine Langzeitpotenzierung zur Folge, die die synaptische Übertragung zwischen den Neuronen dauerhaft erleichtert. Dieser Vorgang ist eine der physiologischen Grundlagen für Speicherung und Wiedergabe in Gedächtnissystemen. Auch in der Amygdala, die bei Angstprozessen bzw. Angstkonditionierung eine entscheidende Rolle spielt, finden sich Nervenzellen mit Glutamat. Die Verbindungsfasern zwischen Amygdala und Cortex sowie Amygdala und Thalamus basieren auf glutamaterger Transmission (Armony, LeDoux, 2000).

6.2 Neuropeptide

Die Zahl der Neuropeptide ist ungleich höher als die der klassischen Transmitter. Die Vielzahl und Diversität dieser neuroaktiven Substanzen wird, wie eingangs bereits erwähnt, direkt durch das Genom bestimmt. Zu den Neuropeptiden gehören u.a. viele Hormone, wie z. B. ACTH, sowie die endogenen Opioide, Enkephalin und Endorphin. Neuropeptide wirken meist neuromodulatorisch, das bedeutet, sie beeinflussen die Wirkung eines klassischen Neurotransmitters mit dem sie gekoppelt sind. Im Gegensatz zu diesem entwickeln sie ihre Aktivität zwar eher langsam, dafür aber anhaltender. Diese Eigenschaft der Neuropeptide lässt die Vermutung zu, dass sie eine Schlüsselrolle bei der Regulation spezifischer Verhaltensweisen spielen (R. Nieuwenhuys, 1996). Besonders in den limbischen Arealen des Gehirns enthalten überaus viele Nervenzellen Neuropeptide. Auffallend dabei ist, dass häufig jeweils ein bestimmtes, gleiches Peptid in den verschiedenen Endstrecken neuronaler Kreisläufe, die für ein spezifisches Verhalten zuständig sind, in hoher Konzentration vorhanden ist. Dies legt den Schluss nahe, dass ein einzelnes Neuropeptid auf verschiedenen anatomischen Ebenen verwendet wird um einen bestimmten Verhaltensprozess zu regulieren. Die diversen „offenen“ Komponenten neuronaler Systeme für ein Verhalten werden gewissermaßen von einem Neuropeptid „gelabelt“ (Herbert, 1993, nach: R. Nieuwenhuys, 1996). Der Einfluss dieser neuroaktiven Substanzen auf Psyche und Verhalten kann aber auch über das autonome Nervensystem geschehen. Nachdem viele dieser Substanzen Funktionen bei der Regelung körperlicher Homöostase aufweisen, wird angenommen, dass Neuropeptide generell psychische Verhaltensprozesse über ihre homöostatischen Funktionen beeinflussen (J. Panksepp, 1986).

Mit Emotionen im Allgemeinen in Verbindung gebracht werden hauptsächlich die endogenen Opioide. Der Grund dafür liegt darin, dass an ihren Rezeptoren Opiate binden können. Die Wirkung von Drogen auf Verhalten und Gefühle nimmt dort ihren Ausgangspunkt. Enkephaline, Endorphine und Dynorphin sind ko- lokalisiert mit klassischen Neurotransmittern wie Ach, GABA oder DA. In Verbindung mit dem meso- limbo- kortikalen DA- System scheinen die endogenen Opioide Einfluss auf positive

Verstärkerprozesse zu haben. Innerhalb dieses Systems bilden DA und das Opioidsystem eine gemeinsame Endstrecke. Das mesolimbische DA- System und seine Bedeutung für Anreizmotivation wurde bereits beschrieben (siehe S. 39), aber während die dopaminergen Neurone eher die energetisierenden Komponenten von positiv motiviertem Verhalten erzeugen, sind die endogenen Opioiden wahrscheinlich zuständig für die positiv affektive Tönung von Belohnungsreizen. Dies ist auch eine mögliche Erklärung für die euphorisierende Wirkung von Opiaten und den dadurch immer wiederkehrenden Drang Drogen zu nehmen. Der positiv affektive Effekt von Opioiden beruht zudem wahrscheinlich auch auf ihrer Wirkung im Rahmen der Schmerzwahrnehmung. Das Opioidsystem moduliert die Schmerzwahrnehmung und hemmt noxische Inputs.

Trotz des scheinbar umfangreichen Wissens um neuronale Botenstoffe, ihre genaue Funktionsweise, vor allem im Bereich der Emotionen, stellt die Forscher immer noch vor viele Rätsel. Leider, oder zum Glück für jeglichen lebenden Organismus, ist es nicht so einfach, dass in einem bestimmten Hirnareal, ein bestimmter Botenstoff ein bestimmtes Verhalten reguliert. Einzelne Neurone können mehrere Transmitter und Rezeptoren für verschiedene Botenstoffe bilden, ko- lokalisierte Neuropeptide modulieren deren Wirkungen, Lokalisation und Verbindungen zu anderen Systemen, tragen zur „Verwirrung“ bei. Und gerade im Bereich der Emotionsforschung scheint es sogar noch schwieriger zu sein, kausale Zusammenhänge zwischen beobachtbaren neurochemischen Prozessen und Verhalten zu finden. Dies lässt sich vielleicht anhand einer pharmakologischen Studie zu Emotionen illustrieren, in der diese durch Novokain- Injektionen induziert wurden. Mittels PET konnte festgestellt werden, dass durch Novokain die Aktivität bilateral in Amygdala, dem parahippocampalen Gyrus, der Insula und dem Cingulum signifikant anstieg. Infolge berichteten die Versuchspersonen über intensive emotionale Erlebnisse, allerdings reichten diese von Dysphorie, Angst, Traurigkeit bis hin zu Euphorie. Die unterschiedlichen Gefühle traten dabei aber nicht nur zwischen den Probanden, sondern auch bei denselben Personen zwischen zwei Injektionen auf (Servan-Schreiber, Perlstein, 1997).

7 Emotionen und EEG

7.1 Das Elektroenzephalogramm

Unter dem Begriff EEG versteht man messbare elektrische Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche, die durch neuronale Strukturen des Gehirns erzeugt werden.

Die Bezeichnung Elektroenzephalogramm prägte der Psychiater Hans Berger (1929), nachdem er, auf der Suche nach dem Korrelat „psychischer Energie“¹, entdeckt hatte, dass bestimmte EEG-Erregungsmuster mit Verhalten und psychischen Zuständen zusammenhingen. Den Arbeiten Bergers vorangegangen waren Tierexperimente des Physiologen Richard Caton. Er wies 1875 erstmals elektrische Hirntätigkeit nach.

Prinzipiell unterscheidet man beim EEG zwei Formen: Zum einen das schnelle AC- (Alternate Current; Wechselstrom-) EEG, auch Hintergrund- oder Spontanaktivität genannt, und zum anderen das langsame DC- (Direct Current; Gleichstrom-) EEG oder Bestandpotentialverläufe.

7.1.1 Ereigniskorrelierte und Langsame Potentiale

Unter ereigniskorrelierten (EKP) oder auch evozierten (EVOP) Potentialen versteht man charakteristische Potentialverläufe, die vor, während oder nach einem externen oder internen Reiz ausgelöst werden. Durch den direkten kausalen und zeitlichen Zusammenhang („time-locked“) mit einem auslösenden Ereignis lassen sich aus dem Potentialverlauf in positiver oder negativer Richtung und der Amplitudengröße eines EVOPs nicht nur Rückschlüsse auf physiologische Prozesse sondern auch auf psychologische Aspekte der Informationsverarbeitung und Verhaltenssteuerung ziehen. Ein Umstand der die EKPs seit der Entwicklung des Mittelungsverfahrens von Dawson 1951 zu einem oft verwendeten Forschungsinstrument in den kognitiven Neurowissenschaften gemacht hat. Durch das „Averagen“ wurde es möglich die sehr kleinen ereigniskorrelierten und die langsamen Potentiale aus der sie unterlagernden Hintergrundaktivität zu extrahieren und zugänglich zu machen.

Ausgehend von der Latenz zum auslösenden Ereignis spricht man von exogenen, endogenen und langsamen Komponenten eines EKPs. Die *Langsamen Potentiale (LP)* beginnen ca. ab 500 ms und

¹ In der Psychophysik des 18. Jahrhunderts war man auf der Suche nach einer „Lebenskraft“, die als eine fundamentale Eigenschaft der Natur gesehen wurde. Die Entdeckung Galvanis, dass Nerven- und Muskelaktivität auf elektrischen Phänomenen basieren, eröffnete plötzlich einen experimentellen Zugang zur postulierten „Lebenskraft“. U.a. zeigte sich sogar I. Kant davon überzeugt, dass eine Nervenkraft physikalisch nachvollziehbar sein müsste - wenn das Mentale eine Wirkung auf die Physiologie ausüben kann, muss es notwendigerweise eine physikalische Realität haben (nach: Röhm, 1999).

können über Sekunden bis hin zu Minuten dauern. Diese trägen Gleichspannungsverschiebungen sind insofern von Bedeutung, spiegeln sie doch die Aktivität eines ausgedehnten neuronalen Systems wieder, das für Planung und Mobilisierung zielgerichteten Verhaltens notwendig ist (Birbaumer, Schmidt, 1996). Dazu kommt, dass durch die längere zeitliche Dauer der SCPs eher neurophysiologische Korrelate bewusster kognitiver Verarbeitung beobachtet werden können, als es bei den vorangehenden Komponenten evozierter Potentiale der Fall ist.

7.1.2 Genese des EEG unter besonderer Berücksichtigung der Entstehung von DC- Potentialen

Registriert werden beim EEG Spannungsschwankungen an der Gehirnoberfläche, genauer gesagt, misst man die Summe aller extrazellulären Ionenverschiebungen, ausgelöst meist durch EPSPs, im Bereich einer Elektrode, bzw. die Summe aller Feldpotentiale. Voraussetzung für die Messbarkeit der corticalen Spannungsschwankungen ist neben der Anzahl der gleichzeitig aktivierten Neurone ($N > 10000$), auch deren annähernd symmetrische Ausrichtung und Anatomie. Dadurch können sich die Potentiale gleichzeitig erregter (oder gehemmter) Neurone überlagern und werden so registrierbar. Außerdem weisen die Nervenzellen eine elektrische Dipolstruktur auf. Wird der Extrazellulärraum an den apikalen Dendriten durch EPSPs negativ aufgeladen (Minuspol), wird gleichzeitig am Zellsoma eine relative Positivierung (Pluspol), allerdings mit nur geringer Felddichte, generiert.

Bei einer länger andauernden Erregungssenkung oder –steigerung, welche durch DC-Potentiale registriert wird, spielen neben den Neuronen auch die Gliazellen eine Rolle. Diese besteht hauptsächlich darin, dass die Neuroglia imstande ist, positive Kaliumionen (K^+), die bei Erregung ins Interstitium abgegeben werden, aufzunehmen. Die aus dem die Neuronen umgebenden Interzellularraum entfernten K^+ Ionen wandern nun innerhalb des neuroglialen Syncytiums und können an einer anderen Stelle wieder abgegeben werden. Dort bewirken sie eine Schwellensenkung der Neuronenmembranen, wodurch eine Depolarisation erleichtert wird. Die Abgabe der K^+ Ionen erfolgt dabei aber nicht willkürlich, sondern bei Neuronen, die mit den bereits aktiven Nervenzellen in Verbindung stehen. Die Gliazellen nehmen somit Einfluss auf die räumliche wie zeitliche Verteilung neuronal generierter Potentiale.

Funktional gesehen bedeutet eine Steigerung des negativen Oberflächenpotentials, die Depolarisation der apikalen Dendriten, ein erhöhtes Erregungsniveau von neuronalen Netzwerken im Cortex. Eine Reduktion des negativen Oberflächenpotentials, also eine relative Positivierung, indiziert hingegen eine Reduktion der apikalen Depolarisation und folglich ein verringertes Erregungsniveau. Dieses Erregungsniveau spiegelt verschiedene kognitive wie auch emotionale Prozesse wieder. Über die

Registrierung Langsamer Potentiale und deren Topographie wird es möglich einen Einblick in diese Informationsverarbeitungsprozesse zu bekommen.

7.2 Evozierte Potentiale, DC- Potentiale und Emotionen

Das konstanteste Ergebnis bei Experimenten mit evozierten Potentialen und emotionsauslösenden Reizen ist das Auftreten einer großflächigen langsamen positiven Welle, die sich von frontozentral bis temporal ausdehnen kann. Vor allem in den dieser Diplomarbeit vorangegangenen Untersuchungen des BRL zu Emotionen (Kalusch-Klug, 1999; Fretska, 1999; Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000) war dies immer wieder erkennbar. Bei Vorgabe von visuellen Stimuli, affektiven wie neutralen, kommt es in der emotionalen Bedingung zu einer weit stärkeren Positivierung als in der Neutralbedingung. In einer Studie zu DC- Topographie und Angst (Gerstmayer, A., 1999) wurden weiblichen Versuchspersonen Spinnen- und Schlangenbilder, als phobogenes Reizmaterial, andere aversive Photos sowie neutrale Bilder vorgegeben. Neben der anfangs schon erwähnten ausgeprägten Positivierung im frontozentralen bis temporalen Bereich in den Emotionsbedingungen war außerdem eine massive parietale P300 zu beobachten. Für Naumann et al. (1992) entspricht ein derartiger P300 – Effekt einer automatischen Detektion emotional relevanter Reize. Dass die P300 sensitiv auf emotionale Stimuli reagiert, ist auch aus anderen Untersuchungen bekannt (z.B.: Fretska, 1999; Thelen, 1999; Carretie et al., 2001; Morita et al., 2001). Die Vermutung jedoch, die späte frontozentrale Positivierung wäre möglicherweise eine Fortführung der P300, konnte in einer Arbeit von S. Thelen (1999) nicht bestätigt werden. Zwar wurden in der Emotionsbedingung sowohl höhere positive Amplituden bei der P300 als auch bei einer späteren positiven slow wave (SW) nachgewiesen, aber während diese mit der Anzahl der unterschiedlichen Photos zunahm, reagierte die P300 genau gegenteilig – je weniger unterschiedliches Bildmaterial desto größer wurde sie. Im BRL interpretierte man den P300-Effekt dahingehend, dass die P300 möglicherweise einen Index für die Tiefe der Verarbeitung darstellt, während die späte (1000 – 3500 ms post stimulus) frontozentrale Positivierung inhaltliche Verarbeitungsprozesse reflektiert. Ein Überblick von Pauli (2001) zu elektro corticalen Befunden von Angst und Panik weist ebenfalls die späte Positivierung bei Langsamen Potentialen als elektrophysiologisches Korrelat von Verarbeitungsprozessen emotionsrelevanter Reize aus, die einen Großteil kortikaler Ressourcen beanspruchen. Bei Gerstmayer (1999) wurde der Zusammenhang von P300 und emotionaler Reaktion derart gedeutet, dass sich in dieser evozierten Komponente eventuell eine schnelle und unkontrollierte emotionale Reaktion im Sinne der „low route“ nach J. LeDoux widerspiegelt, welche im weiteren Verlauf in eine kognitive Verarbeitung übergeht. Hier produzierten die phobogenen Spinnen- u.v.a. die Schlangenbilder größere P300 Amplituden als die übrigen

aversiven Reize, was darauf hinweisen könnte, dass phylogenetisch bedeutsame Reize schneller verarbeitet werden. Die späte frontozentrale Positivierung hingegen entspräche wahrscheinlich einer visuell erzeugten „defense reaction“ (DR). Kognitive Aktivität wird dabei unterdrückt um Ressourcen für sympathische Aktivierung und defensives Verhalten freizumachen (Wik et al., 1993; Fredrikson, 1995, 1997), was sich im EEG als DC- Positivierung zeigt. Ebenfalls als Ausdruck einer DR und der Verarbeitung über die „low route“ wurde die frontale positive Welle in den affektiven Bedingungen von Waldmüller (2000) interpretiert. In dieser Diplomarbeit wurden neben aversiven auch positive Bilder als Reizmaterial verwendet, wobei der späte frontale positive shift am stärksten in der Negativbedingung, etwas weniger bei den angenehmen Bildern und am schwächsten in der Neutralbedingung auftrat. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der direkte Verarbeitungsweg über die Amygdala auch bei Auftreten von positiven Stimuli innerviert wird. Auch in einer Forschungsarbeit von Schupp et al. (2000) zeigt sich, dass unabhängig vom affektiven Inhalt, positive wie negative emotionale Stimuli, ein größeres positives Langsames Potential nach sich ziehen. Zudem variiert Größe der SCPs mit der Intensität des emotionalen Gehalts: Je intensiver - desto größer der positive shift. Die späte Positivierung erweist sich also nicht nur abhängig von der Bildpräsentation, ob affektiv oder nicht, sondern auch als sensitiv auf den intrinsischen motivationalen Gehalt der Bilder. Ähnlich interpretieren auch Sabatinelli et al., 2007, die Ergebnisse ihrer kombinierten ERP – BOLD – Untersuchung. Sie vermuten, dass die verstärkte, späte Positivierung über den posterioren Bereichen die Aktivität in visuellen kortikalen Kreisläufen reflektiert, die den motivationalen Gehalt visueller Szenen miteinbezieht. Eine Metastudie von Oloffson et al. (2008), bringt die späten langsamen Potentialverschiebungen ebenfalls mit der Arousal-Komponente von Emotionen in Verbindung.

Emotionale Reize haben einen Effekt auf kognitive Prozesse und Aufmerksamkeit. Wie oben bereits erwähnt scheint die auffallende DC- Positivierung im frontozentralen Bereich bei affektiven Stimuli auf eine Inhibition kognitiver Prozesse hinzudeuten. Diese kortikale Deaktivierung versuchte Diedrich (1997) mit seinem Versuchsdesign nachzuweisen. Während der Betrachtung affektiver und neutraler Bilder wurden randomisiert Schreckreize vorgegeben. Die elektrokortikale Reaktion auf diese Reize sollte vom Inhalt der Bilder beeinflusst sein. Tatsächlich war beim Auftreten einer ausgedehnten frontalen Positivierung, infolge der Wahrnehmung emotionaler Bilder, die elektrokortikale Reaktion auf die Schreckreize vermindert. Damit werde die Hemmung durch affektive Stimulation auf kognitive Vorgänge sichtbar, so Diedrich, – die frontale Positivierung reflektiere die Regulation der kortikalen Erregungslage. Die Inhibition ist demzufolge als Regulationsmechanismus, im Sinne einer Deaktivierung, zu verstehen, um emotionale Reaktionen zu kontrollieren. Aus dieser Sicht ließe sich vielleicht auch die verstärkte, späte Positivierung bei appetitiven Stimuli erklären. Positive Reize scheinen zudem eine größere Kapazität als negative Reize aufzuweisen, erwartungsabhängige

Aufmerksamkeit zu generieren, stellten Carretié et al., 2001, fest. Sie untersuchten 3 aufmerksamkeitsbezogene evozierte Komponenten. Dabei erzeugte eine erwartete positive Stimulation eine größere N280 vor Reizpräsentation als die Erwartung negativer Reize. Hingegen waren bei positiven und negativen Stimuli die Amplituden der P200 als auch die P340 nach Reizbeginn größer als bei Neutralreizen. Die P200 und die P340 traten in den visuellen Assoziationsarealen auf. Aufgrund ihres Verlaufes ließ sich erkennen, dass die P200 ihren Ursprung im „dorsal stream“ der visuellen Wahrnehmung hat, während die P340 dem „ventral stream“ zugeschrieben werden kann. Carretié et al. nehmen an, dass diese beiden Verarbeitungswege der visuellen Wahrnehmung unterschiedlich stark auf die emotionale Valenz eines Reizes reagieren. Der schnelle dorsale Weg ist, wegen einer unter Umständen notwendigen schnellen motorischen Reaktion, v.a. bei negativen Reizen relevant, während ventral der spätere, langsamere aber längere Aufmerksamkeitsprozess für vertiefende Informationsverarbeitung bei positiven Stimuli in stärkerem Maße hervorgerufen wird. In einer späteren Studie zu automatischer Aufmerksamkeit und Emotionen stellten Carretié et al., 2004, fest, dass negativ – emotionale Stimuli bereits eine größere P100 auslösten, im Gegensatz zu positiven und neutralen Reizen. Nach 180 ms (P200) zogen die positiven Reize nach und schließlich kam es bei 240 ms post stimulus nur in der positiven und neutralen Bedingung zu einer verstärkten N200. Eine LORETA – Analyse der Daten zeigte, dass der anteriore cinguläre Cortex, und nicht wie früher angenommen der visuelle Assoziationscortex, stark in automatische Aufmerksamkeitsprozesse bei emotionalen Stimuli involviert ist.

Neben ihrem Einfluss auf frontale kognitive Prozesse, scheinen Emotionen auch auf sensorische Informationsverarbeitungsprozesse zu wirken. Während bei Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren diese Vermutung bereits öfter bestätigt wurde (Lang et al, 1998, Fredrikson et al, 1997; vgl. Kap. 8.1), gibt es bislang im Bereich der evozierten Potentiale nur vereinzelt Daten dazu. Sato et al. (2001) beispielsweise konnten in einer Studie zeigen, dass die N270 über den visuellen Zentren der posterioren temporalen Areale signifikant größer bei emotionalen als bei neutralen Bildern war. Zudem ergab sich nach Berechnen einer unabhängigen Komponentenanalyse (Independent Component Analysis; ICA) eine mit der N270 korrespondierende Positivierung im frontozentralen Bereich. Die erhöhte neuronale Feuerbereitschaft in den visuellen Zentren weist auf eine Verbesserung dort lokalisierter Informationsverarbeitungsprozesse hin. Diese verstärkte visuelle Verarbeitung relevanter Reize wird möglicherweise induziert über Rückprojektionen der Amygdala. Ebenfalls erhöhte okzipitale Aktivität in den visuellen Zentren bei emotionalen Stimuli im Vergleich zu neutralen fanden Junghöfer et al. (2001). Eine unterschiedlich starke Aktivierung bezüglich des vorgegebenen Stimulusmaterials konnte auch in einer Arbeit des BRL (Kalusch-Klug, 1999) festgestellt werden. Allerdings, im Gegensatz zu den beiden vorher erwähnten Studien, erwiesen sich hier die neutralen Bildreize als okzipital

aktivierender. Im Einklang mit anderen Studienergebnissen war hingegen die ausgedehnte fronto-zentrale bis temporale Positivierung bei affektiver Vordergrundstimulation, wofür die Verbindung Amygdala – Orbitofrontaler Cortex (OFC) verantwortlich gemacht wird. Ebenfalls deutlich trat ein Lateralisationseffekt der Hemisphären hervor – die linke Hemisphäre zeigte sich stärker aktiviert während die rechte Hemisphäre generell stärker positiviert. Hemisphärenunterschiede in der Verarbeitung emotionaler Stimuli werden seit langem angenommen und konnten in zahlreichen Untersuchungen auch nachgewiesen werden. Allerdings gestalten sich die Ergebnisse recht unterschiedlich und inhomogen, und etliche Studien lassen gar keinen Hemisphärenunterschied erkennen (Cuthbert et al., 2000; Schupp et al., 2000). In den letzten Jahren versucht man auch mit Hilfe von frequenzanalytischen EEG – Methoden den genauen Verarbeitungsprozessen und ihrer hemisphärischen Aufteilung in bezug auf Emotionen auf den Grund zu gehen. Hauptaugenmerk liegt dabei eben auf der Hemisphärenlateralität, also der unterschiedlichen Hemisphärenaufteilung emotionaler Prozesse im Gehirn. Genauerer dazu wird unter Punkt 8.3 „Emotionen und Hemisphärenlateralität“, S. 52, im nächsten Kapitel erläutert.

8 Studienergebnisse zu speziellen Aspekten bei Emotionen

8.1 Visuelle Wahrnehmung und ihre Beeinflussung durch Emotion

Emotionale Reize können die visuellen Areale beeinflussen. In einer PET- Untersuchung (Fredrikson et al., 1997) wurde festgestellt, dass während der Präsentation von phobischen Bildern, bei Personen mit einer leichten Tierphobie, die rCBF im sekundären visuellen Areal signifikant erhöht war gegenüber der Vorgabe von neutralen Reizen. Im Gegensatz dazu war die Durchblutung im Hippocampus, in präfrontalen, orbitofrontalen und temporopolaren Regionen sowie im posterioren Cingulum deutlich im Vergleich zur Neutralbedingung reduziert. Laut Autoren reflektieren diese Ergebnisse die funktionelle Neuroanatomie einer Abwehrreaktion. Die verstärkte rCBF im sekundären visuellen Cortex stellt vermutlich eine Hypervigilanzreaktion bei Angst dar.

In einer zusätzlichen Bedingung wurde im Rahmen derselben Studie Bankangestellten das Überwachungsvideo eines Banküberfalles gezeigt, den sie selbst miterlebt hatten. Ebenso wie beim vorhergehenden Versuch kam es zu einer verstärkten Durchblutung im primären und sekundären visuellen Cortex, aber zudem noch im posterioren Gyrus Cinguli sowie dem linken orbitofrontalen Cortex. Auch hier wird vermutet, dass die neuronale Aktivität in der Okzipitalregion Indikator für eine erhöhte Vigilanz ist, die durch die Erinnerung an das traumatische Erlebnis ausgelöst wurde. Damit hängt auch die Aktivität des posterioren Gyrus Cinguli zusammen, die das Aufrufen der trauma-assoziierten episodischen Gedächtnisinhalte widerspiegelt. Die verstärkte rCBF und erhöhte nervöse Erregung im Orbitofrontalbereich wiederum sollen Initiierung und Aufmerksamkeitsfokussierung auf eine bevorstehende Verhaltensreaktion erleichtern.

Unterschiede des neuronalen Aktivitätsniveaus im primären und sekundären Cortex während der Vorgabe von Bildern mit neutralem oder emotionalem Inhalt konnten auch Lang et al. 1998 in einer fMRI- Studie nachweisen. Emotionale Reize, egal ob positiv oder negativ führten im Vergleich zur Neutralbedingung zu einer signifikant höheren Aktivität in den Okzipitalregionen. Dieser registrierte Anstieg in den Arealen der frühen Reizverarbeitung lässt auf beeinflussende Prozesse aus weiter anterior gelegenen Regionen des Gehirns schließen, konkret aus einem Aufmerksamkeitszentrum des anterioren Cingulums (Posner, Raichle, 1995 nach Lang et al., 1998) und der Amygdala. Selbige erhält ja Informationen aus Regionen der späteren Reizverarbeitung, projiziert aber zurück in Areale der primären sensorischen Analyse. Während der Input aus dem anterioren Cingulum Aufmerksamkeitsprozesse repräsentiert, geht die Aktivierung durch die Amygdala auf Emotionsprozesse zurück. Inwieweit diese beiden Hand in Hand gehen, einander beeinflussen oder für

sich alleine stehen können, ist bis dato nicht genau geklärt. Bemerkenswert ist, dass in elektrophysiologischen Untersuchungen, die Aktivierung der posterioren visuellen Zentren durch Aufmerksamkeitsprozesse einer Aktivierung durch emotionale Stimuli gleichkommt. Was zu der Überlegung führt, wenn ein emotionaler Reiz auftritt, wird nun die erhöhte Aktivierung in den Okzipitalregionen vom emotionalen Gehalt des Reizes selbst, also über die Amygdala, ausgelöst, oder über Aufmerksamkeitsprozesse, wenn man seinen Aufmerksamkeitsfokus dem relevanten Reiz zuwendet? Ein Computermodell, welches ein Netzwerk selektiver Aufmerksamkeit nach Cohen, Dunbar und McClelland (1990) und das Angstkonditionierungsmodell nach LeDoux (2000) kombiniert, sollte die Wirkung beider Mechanismen simulieren (Armony, LeDoux, 2000). Ausgangspunkt stellt die Hypothese dar, dass der thalamo-amygdaloide Weg, als Repräsentation für den Einfluss von Emotion, von einem selektiven Aufmerksamkeitsprozess unabhängig ist, bzw. diesen sogar stören kann. Das Ergebnis der Computersimulationen bestätigte die Annahmen. Die Amygdala scheint tatsächlich eigenständig die Reizverarbeitung eines Gefahrensignals zu verbessern, selbst wenn dieses im Augenblick außerhalb des Aufmerksamkeitsfeldes liegt. Gleichzeitig können emotionale Prozesse den Fokus der Aufmerksamkeit verändern und kognitive Prozesse behindern.

8.2 Filminduzierte Emotionen und ihre neuroanatomischen Korrelate

Experimentell lassen sich Emotionen auf verschiedenste Art und Weise induzieren. Im Humanversuch, wenn bildgebende Verfahren verwendet werden, geschieht dies meist anhand visueller Reize, wie Fotos emotionaler Gesichtsausdrücke und Kurzfilme, oder über Erinnerungen. Ob sich nun die unterschiedliche Induzierung auf die registrierten Aktivitätsmuster im Gehirn auswirken, ist Inhalt einer PET- Studie von Reiman et al., 1997. Als exterozeptive Stimuli wurden kurze Filmsequenzen vorgegeben, als interozeptive Reize fungierten emotionale Erinnerungen an Erlebnisse der jeweiligen Versuchsperson. Zusätzlich gab es noch zwei Kontrollbedingungen mit neutralen Filmen und emotionslosen Geschehnissen. Die Ergebnisse dieses Versuchs lassen tatsächlich auf differente Aktivierungen bei extero- oder interozeptiv erzeugten Emotionen rückschließen. Filmgenerierte Emotionen waren assoziiert mit einer signifikanten Aktivitätssteigerung im occipitotemporoparietalen Cortex, im lateralen Cerebellum und Hypothalamus, in der Amygdala, der hippocampalen Formation und im anterioren Temporallappen. Das erhöhte Aktivitätsniveau in diesen Strukturen wird von den Autoren der Studie als spezifisch für extern induzierte Emotionen interpretiert. Sowohl bei Filmen als auch Erinnerungen konnte ein deutlicher Anstieg im Thalamus und im medialen Präfrontalen Cortex registriert werden. Der mPFC scheint diesbezüglich bei einer ganzen Reihe von Aspekten bewusst wahrgenommener Emotionen eine Rolle zu spielen. So liegen wahrscheinlich u.a. in seinem

Zuständigkeitsbereich die Initiierung, Überwachung und Modulation von Emotionen und ihre Expression, sowie emotionsrelevantes Entscheidungsverhalten. Im Vergleich zur externen kam es bei der internen Emotionsbedingung sonst zu keinen Aktivitätserhöhungen. Ausnahme bildeten lediglich traurige Erlebnisse, wobei in der anterioren Insula ein Anstieg der rCBF gemessen werden konnte.

8.3 Emotionen und Hemisphärenlateralität

Die Lateralisierung des Gehirns bezüglich seiner Funktionen macht auch vor den Emotionen nicht halt. Nachdem u.a. bereits der Sprache, dem räumlichen Vorstellungsvermögen, der Verarbeitung von Musik und anderen höheren kognitiven Prozessen eine für die Funktion dominante Hemisphäre zugewiesen wurde, scheint das auch bei der Verarbeitung von Affekten zu funktionieren.

Tatsächlich liefern diverse neuropsychologische Untersuchungen Hinweise darauf, dass die rechte Hemisphäre dominant ist, wenn es sich um einen Reiz mit emotionalem Wert handelt. Bei Versuchen in denen das affektive Reizmaterial lateralisiert vorgeben wurde, fand man eine Dominanz der rechten Hälfte bei der Wahrnehmung emotionaler Gesichtsmimik und des affektiven Ausdrucks verbaler und nonverbaler Reize (Spence, Shapiro, Zaidel, 1996). Ähnliche Ergebnisse gibt es auch aus der Läsionsforschung. So zeigen Patienten mit einer unilateralen rechtsseitigen Verletzung Ausfälle beim Erkennen affektiven Gesichtsausdruckes (Bowers, Bauer, Coslett, Heilman, 1985).

Warum aber sollte gerade die rechte Gehirnhälfte einen Vorteil bei der Verarbeitung von Emotionen haben? Eine Hypothese besagt, dass emotionale Verarbeitungsstrategien eher holistisch und weniger sequentiell, was der linken Hemisphäre entspräche, organisiert sind (Borod, nach Springer, Deutsch, 1998). K. Heilman wiederum (ebenfalls nach Springer, Deutsch, 1998) meint, dass die rechte Hemisphäre in engerem Kontakt zu subcortikalen Systemen steht, die für Erregung und intentionales Verhalten Bedeutung haben. Das heisst, die rechte Hemisphäre besitzt deswegen „emotionalen Vorrang“, weil diese Seite des Gehirns bessere Verbindungen zu und mehr Einfluss auf autonome Systeme hat. So scheint eher das physiologische Reaktionssystem als die Wahrnehmungs- und kognitiven Systeme der Ort der rechtsseitigen Spezialisierung bei Emotionen zu sein (Spence, Shapiro, Zaidel, 1996). Eine Metaanalyse von 106 PET und fMRI – Studien (Murphy, Nimmo-Smith, Lawrence, 2003) besagt wiederum anderes – hier wurde festgestellt, dass Emotionen, die ein Annäherungsverhalten zur Folge haben, eine höhere linkshemisphärische Aktivierung nach sich ziehen, während Emotionen mit Vermeidungsverhalten ein über beide Hemisphären symmetrisches Aktivitätsmuster erzeugen. Und eine weitere Metaanalyse von 65 Emotionsstudien mit bildgebenden Verfahren (Wager et al., 2002) kommt zum Schluss, dass es keinen Lateralisationseffekt bei emotionalen Prozessen zugunsten der rechten Hemisphäre gibt.

Aus diversen EEG- Untersuchungen jedoch gibt es Indizien auf Hemisphärenunterschiede. Als Beispiele seien hier vor allem ERP- Studien des BRL der Universität Wien zum Thema Emotionen genannt. Bei Vorgabe emotionsinduzierender Bilder konnte eine stärkere Positivierung der rechten Hemisphäre festgestellt werden (Kalusch-Klug, 1999; Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000). Größere N2- und P3- Amplituden auf der rechten Cortexoberfläche im Vergleich zur linken bei negativer Emotion fanden Kayser et al. (1997). Die Bilder (neutral und negativ) wurden dabei lateralisiert für jede Hemisphäre vorgegeben. Ebenfalls lateralisiert bot Kostandov (1986) in einer ERP- Untersuchung neutrale und Wörter mit emotionalem Inhalt dar. Zwar konnte er einen Unterschied bezüglich der Latenz der P300 abhängig vom emotionalen Gehalt eines Wortes feststellen, aber keinen zwischen den Hemisphären. Dieses unterschiedliche Ergebnis könnte auf die Verwendung verbalen Stimulusmaterials zurückzuführen sein. Feyereisen (nach Gainotti, 1989) vermutet in einem Artikel zur Lateralisation von Emotionen, eine Hemisphärendominanz könnte möglicherweise von parallel zu emotionalen Prozessen laufenden kognitiven Komponenten abhängen, wie von der Art des Reizes und seiner Wahrnehmung. *„The interpretation of lateral differences in emotional processing is thus related to the issue of the separability of emotion and cognition. Is emotional information processing special and does it parallel cognitive processing? Or does this distinction correspond to other subdivisions in the cognitive domain?“*

Worauf eine mögliche Hemisphärendominanz bei emotionalen Verarbeitungsprozessen letztendlich beruht, ist bis dato ungeklärt. In einem Überblicksartikel zur Hemisphärenlateralität bei Emotionen filterte Gainotti (1989) vier Hypothesen heraus. Die erste besagt, dass es eine rechtsseitige Dominanz bei emotionalen Verarbeitungsprozessen gibt. Auch die zweite Hypothese postuliert eine rechtsseitige Dominanz, allerdings nur im Bereich nonverbaler, emotionaler Kommunikation. Die dritte Hypothese wiederum geht davon aus, dass die Lateralitätseffekte nur ein Nebenprodukt zugrundeliegender Hemisphärenasymmetrien von Sprache, komplexer Verarbeitung von Reizen oder der Kontrolle subtiler Gesichtsbewegungen sind, also keine primäre Hemisphärendominanz bei Emotionen besteht, sondern lediglich eine sekundäre. Die vierte und letzte Hypothese, der vor allem in den letzten Jahren vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt wird, handelt von einer unterschiedlichen Hemisphärenspezialisierung auf positive oder negative Emotionen. Die in dieser Diplomarbeit favorisierte Hypothese ist letztere. Wie später bei der Formulierung der Hypothesen noch ersichtlich werden wird, ist für das Experiment mit den filminduzierten Emotionen zu erwarten, dass ein Hemisphäreneffekt abhängig von der Valenz der Emotion auftritt.

8.3.1 Hemisphärenasymmetrie und der „Affektive Stil“

In neueren Studien zu emotionalen Prozessen zeigt sich eine interhemisphärische Asymmetrie. Das positive Annäherungssystem scheint dabei mit einer stärkeren linksseitigen Aktivität, vor allem in

anterioren Bereichen, assoziiert zu sein, während das negative Vermeidungssystem mit einer stärkeren Aktivität der rechten Hemisphäre einhergeht (Davidson, 1998). In diesem Zusammenhang steht das Konzept des „affektiven Stils“. Es besagt, dass individuelle Unterschiede in der rechts- und linkshemisphärischen Grundaktivität, Rückschlüsse auf die affektive Neigung einer Person zulassen. Von dieser Hypothese ging R.J. Davidson bei seinen Untersuchungen aus. Nachdem sich in vorhergehenden Studien zeigte, dass Personen mit einer höheren linksseitigen Grundaktivität¹ bei Persönlichkeitsfragebögen eine positivere Einstellung angaben (Tomarken et al., 1992; Sutton et al., 1997), versuchte Davidson nachzuweisen, dass der „affektive Stil“, im Sinne einer Eigenschaft, eines „trait“, generell in der Bewertung emotional relevanter Reize reflektiert wird. Als emotionsauslösende Stimuli wurden den Versuchspersonen, deren präfrontale Hemisphärenaktivität zuvor registriert worden war, kurze Filmclips dargeboten. Anschließend mussten die Teilnehmer ihre persönlichen Empfindungen bewerten. Die Ergebnisse stimmten auch hier mit der Hypothese des affektiven Stils überein. Präfrontal linksseitig aktivierte Personen empfanden die angenehmen Filmsequenzen positiver als Personen mit einer rechtshemisphärisch stärkeren Aktivität, die wiederum ihrerseits unangenehme Filme negativer bewerteten. Ähnliche Resultate erzielten Allen et al. (2001). Sie begnügten sich allerdings nicht nur damit Filme vorzugeben, ihre Versuchspersonen lernten in mehreren Biofeedbacksitzungen entweder die linke oder rechte präfrontale Gehirnhälfte stärker zu aktivieren. Beim anschließenden Rating der durch den Film ausgelösten Emotionen trat das erwartete Ergebnis ein.

Allerdings stellt sich immer mehr heraus, dass die Hemisphärenasymmetrie im PFC weit komplexer als ursprünglich angenommen ist. Die „grobe“ Differenzierung: rechts - negativ, links - positiv, lässt sich nicht generell auf alle Arten von Emotionen anwenden. So ist Ärger unbestritten eine negative Emotion. Er geht aber einher mit einer stärkeren Aktivität der linken Hemisphäre (Allen et al., 2001). Eine Erklärung dafür bietet die Interpretation, dass nicht die Emotion an sich, sondern das daran geknüpfte Verhalten bei Auftreten eines relevanten Reizes die Hemisphärenasymmetrie bestimmt. Genauer gesagt, ist die Motivation für Annäherungsverhalten, eher links dominant, während die Motivation zum Vermeidungsverhalten, eher rechts dominant ist (Davidson, 1998; Allen et al., 2001).

Die beiden unterschiedlichen Emotionsdimensionen Verhalten und Valenz werden wahrscheinlich unterschiedlich in der Hemisphärenasymmetrie reflektiert. Die Untersuchungen Davidsons konzentrierten sich vor allem auf die Vorhersage von Verhaltensneigungen aufgrund individueller

¹ In einer umfangreichen Studie untersuchte Davidson 1992 die Hemisphärenasymmetrie bei 90 Studenten bezüglich der EEG- Frequenzbänder, wobei er vor allem auf die Alpha- Aktivität einging. Nach wiederholten Messungen stellte sich heraus, dass die individuelle Alpha- Aktivität im präfrontalen Bereich eine hohe interne Konsistenzreliabilität und eine akzeptable Testreliabilität aufwies. Dabei verhält sich die Alpha- Aktivität invers zur corticalen Grundaktivität, je höher der Alpha einer Hemisphäre desto geringer ihre allgemeine Aktivität.

Unterschiede bei der Hemisphärenasymmetrie im dorsolateralen PFC. Als Indikator dafür diene die Alphaaktivität an den Elektroden F3 und F4. Die individuellen Differenzen in der elektro corticalen Grundaktivität werden dabei auf funktionale Ursachen zurückgeführt und gelten nicht als Resultat darunterliegender struktureller Verschiedenheiten (Davidson, 1998; nach Allen et al., 2001). Ein anderes Bild erhält man jedoch, wenn die Aktivität im frontoparen Bereich (FP1, FP2) hinsichtlich ihrer Bedeutung bei der Hemisphärenasymmetrie von Emotionen betrachtet wird. Hier reflektiert sich nach Papousek und Schuler (2002) der Emotionszustand. In ihren Untersuchungen zeigten sich genau gegenteilige Effekte. Anspannung, Furcht und Depression gingen einher mit einer höheren linksseitigen Aktivität am frontoparen Cortex. Diese Diskrepanz erklären die Autoren mit der unterschiedlichen funktionalen Bedeutung des dorsolateralen und des frontoparen PFC und verschiedenen neurophysiologischen Korrelaten von emotionalen Zuständen auf der einen Seite und dispositionalem Affekt und Psychopathologie auf der anderen Seite.

8.4 „Emotionale“ Geschlechtsunterschiede

Im Allgemeinen gelten Frauen als das „emotionalere“ Geschlecht. Und tatsächlich belegen viele Studien, dass Frauen Emotionen, egal welche, mehr und stärker ausdrücken als Männer (Kring, Gordon, 1998). Allerdings lässt sich anhand dieser Expressionsstudien nicht klären, ob Frauen Emotionen nun wirklich auch stärker empfinden, und, ob physiologische Emotionsprozesse anders als bei Männern ablaufen. Was die subjektive Empfindung von Emotionen betrifft, scheiden sich die Geister, bzw. die Studien. Eine Reihe kommt zum Ergebnis „ja“ (Choti et al., 1987; Greenwall et al., 1989; Gross, Levenson, 1993; Schwarz et al., 1980; nach Kring, Gordon, 1998) die andere meint „nein“ (Wagner et al., 1993; Zuckerman et al., 1981; ebenfalls nach Kring, Gordon, 1998).

In Bezug auf physiologische Unterschiede häufen sich in den letzten Jahren Hinweise, die dafür sprechen. Eine Metaanalyse hinsichtlich dieses Themas, in die 65 Studien mit bildgebenden Verfahren einbezogen wurden, von Wager et al., 2003, bestätigt Unterschiede bei der Emotionsverarbeitung. So laufen bei Männern emotionale Prozesse lateralisiert ab, während Frauen in stärkerem Maße Hirnstammaktivierungen zeigen. Manche Untersuchungen (Canli et al., 2002; Cahill et al., 2004) liefern Ergebnisse, anhand derer man gar von einem geschlechtsspezifischen Hemisphärenlateralisationseffekt sprechen kann. Beim Wiedererinnern (nach 2 bzw. 3 Wochen) an emotional aufrührende Bilder aktivierten Frauen stärker die linke Amygdala, während Männer die rechte Amygdala bevorzugten. Frauen erinnerten sich zudem besser an die Emotionsbilder (Canli et al., 2002), was den Autoren zufolge darauf zurückzuführen sein könnte, dass Frauen beim Erinnern signifikant mehr Hirnregionen verwendeten, die auch beim Wahrnehmen der Bilder aktiv waren. Mackiewicz et al.,

2006, fanden die geschlechtsspezifische Amygdalaaktivierung während des Betrachtens aversiver Bilder und in einer Erinnerungsbedingung 2 Wochen danach, jedoch nicht in einer, gleich im Anschluss an die Vorgabe stattgefundenen, ersten Erinnerungsbedingung. Dies mag vielleicht u.a. auch ein Grund sein, warum die Daten von Fischer et al., 2007, keine Geschlechtsunterschiede beim Erinnern an affektive Gesichter zeigten. Hinsichtlich der Interaktion zwischen Kognition und Emotion sind bei Frauen Amygdala und OFC stärker beteiligt als bei Männern (Koch et al., 2007). Frauen aktivieren beim Lösen verbaler Aufgaben unter negativ-emotionalem Einfluss¹ emotionsassoziierte Areale stärker, während Männer unter gleichen Bedingungen den Großteil ihrer neuronalen Aktivität auf Kognitionsbereiche beschränken. Unterschiede in der Hirnaktivität bei emotionalen Wörtern als Auslösereiz konnten auch Hofer et al., 2007, beobachten. Bezogen sich Wörter auf interpersonelle Konflikte (Shirao et al., 2005) so löste das bei Frauen im Vergleich zu neutralen Wörtern eine signifikant stärkere Aktivität bilateral im Nucleus Caudatus und linkem Putamen aus, während es bei Männern zu keinen Aktivitätsunterschieden kam.

Wrase et al., 2003, gaben ihren männlichen und weiblichen Versuchsgruppen IAPS – Bilder vor. Ein Lateralisationseffekt der Amygdala konnte zwar nicht festgestellt werden, sehr wohl aber signifikante Unterschiede. So zeigten Männer eine stärkere neuronale Antwort auf positive Reize im inferioren und frontalen Gyrus, während Frauen auf negative Bilder stärker im anterioren und medialen Gyrus Cinguli reagierten. Wrase et al. weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, wie wichtig es sei den Faktor „Geschlecht“ bei Untersuchungen zu Emotionen miteinzubeziehen. *„These results indicate that it is crucial to take gender differences into account when emotional paradigms are used in functional brain imaging.“* Erwartungsgemäß fanden Sander, Frome und Scheich, 2007, bei Frauen und Männern² Unterschiede in der Hirnaktivität, wenn den Probanden präverbale Äußerungen von Babies vorgespielt wurden. Frauen aktivierten die Amygdala und den anterioren cingulären Cortex stärker als Männer. Laut Autoren reflektieren diese geschlechtsabhängigen Korrelate der Hirnaktivität eine neuronale Prädisposition von Frauen bezüglich ihres Antwortverhaltens auf Babylaute.

Es wird angenommen, dass die neuronalen Geschlechtsunterschiede bei emotionalen Prozessen im Laufe entwicklungsbedingter Veränderungen begründet liegen. Allerdings konnte diese Hypothese noch nicht zufriedenstellend verifiziert werden. Killgore et al., 2001, fanden zumindest Hinweise darauf. So zeigten die weiblichen Versuchspersonen mit ansteigendem Alter eine Verlagerung der neuronalen Aktivität beim Enkodieren ängstlicher Gesichter von der Amygdala hin zum PFC in der linken Hemisphäre. Bei den männlichen Probanden traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersstufen auf. Allerdings wurde diese Studie mit 4 Versuchsgruppen (Kinder, männlich, weiblich;

¹ Der negative emotionale Einfluss wurde über schlechte Gerüche induziert

² An der Untersuchung nahmen nur kinderlose Probanden teil.

Jugendliche, männlich, weiblich) nur mit einer Gesamtstichprobe von 19 Probanden durchgeführt. In einer Folgestudie, 2004, wurden 10 Erwachsene als Versuchspersonen hinzugenommen. Hier ergab sich, dass Männer als Kinder beim Betrachten ängstlicher Gesichter den dorsolateralen FC bilateral, als Jugendliche lateralisiert rechts und schließlich als Erwachsene wieder bilateral aktivierten. Frauen wiederum aktivierten mit zunehmendem Alter verstärkt beide Hemisphären. Hinsichtlich der Amygdalaaktivierung konnten keine Geschlechtsunterschiede festgestellt werden. Kinder aktivierten erst bilateral, bei Jugendlichen wurde die Amygdala in der rechten Hemisphäre verstärkt genutzt, und bei Erwachsenen wieder bilateral. Zu einem etwas anderen Ergebnis kam die Forschergruppe um McClure, 2004. Hier konnten zwar Geschlechtsunterschiede bei den erwachsenen Probanden ausgemacht werden, jedoch keine bei den jugendlichen. Man zog den Schluss, dass sich geschlechtsbezogene neuronale Musterunterschiede beim Betrachten emotionaler Gesichter erst zum Erwachsenenalter hin entwickeln und vorher noch nicht voll präsent sind. Alles in allem gesehen, steht die neurowissenschaftliche Emotionsforschung in diesem Bereich ganz am Anfang. Die Klärung der Frage, ob neurophysiologische Geschlechtsunterschiede bei emotionalen Prozessen bereits von Kindheit an bestehen oder sich im Laufe der Entwicklung ergeben, verlangt noch nach einer ganzen Reihe von Untersuchungen.

Ebenfalls Unterschiede zwischen Mann und Frau bei Emotionsprozessen zeigen einige EEG-Studien (Dimpfel et al., 2003; Jausovec, N., Jausovec, K., 2005; Güntekin, Basar, 2007; Schirmer, Kotz, 2003; Schirmer et al., 2007; Gasbarri et al., 2007). Beim Betrachten emotionaler Filmsequenzen produzierten die weiblichen Versuchspersonen in den temporalen Arealen eine stärkere Abnahme der α - und β -Aktivität als die männlichen Probanden. Gleichzeitig stieg in den frontozentralen Bereichen bei Frauen die σ - und δ -Power signifikant an. Dimpfel et al., 2003, interpretierten die Reduktion der α -Aktivität als Zeichen höherer Aufmerksamkeit, während sie den größeren Anstieg im Frontozentralbereich bei Frauen als Ausdruck eines höheren Verständnisses sehen. Von einer intensiveren Wahrnehmung und Verarbeitung emotionalen Gesichtsausdruckes bei Frauen könnte man anhand der Ergebnisse von Güntekin und Basar, 2007, sprechen. Sie fanden signifikant größere - Oszillationen okzipital bei Frauen im Vergleich zu den männlichen Versuchspersonen.

Auch die P300 scheint bei der Emotionsverarbeitung durch das Geschlecht beeinflusst. Als einer der wichtigsten Indikatoren für emotionales Geschehen auf elektrophysiologischer Ebene war die P300 bei Frauen während des Betrachtens von Bildern mit negativem Inhalt in der linken Hemisphäre verstärkt, während es bei Männern in der rechten Hemisphäre zu einem größeren P300 – Effekt kam (Gasbarri et al., 2007). In gleicher Weise reagierte die P300 bei Frauen und Männern auch beim Anhören von Geschichten mit emotionalem Inhalt (Gasbarri et al., 2006). Vielleicht könnte ja hierin ein Grund für die bessere verbale Expressionsfähigkeit von Emotionen bei Frauen liegen, denn anscheinend passiert in

der linken, sprachlichen, Hemisphäre bei Frauen eine intensivere Verarbeitung emotionaler Stimuli. In diesen Zusammenhang würde auch die weibliche, linkshemisphärische Dominanz der Amygdalaaktivität bei emotionalen Reizen (Canli et al., 2002; Cahill et al., 2004) passen. Etwas anders liegt die Sache bei der N400, die in 2 Studien von Schirmer, Kotz und Friederici, 2002 und 2005, als Indikator für die Integration von Sprachmelodie und Wortvalenz herangezogen wurde. In der ersten Untersuchung fand man signifikante Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Latenz der N400. Während zwar beide Geschlechter bei emotional kongruenten Wörtern¹ eine kleinere N400 Amplitude zeigten, kam es zu diesem Effekt bei Frauen bereits nach 200 ms, bei Männern erst nach ca. 750 ms, was für die Autoren bewies, dass Frauen Sprachmelodie und Wortvalenz schneller integrieren könnten. 3 Jahre später allerdings verschwand dieser Geschlechtsunterschied als man in der Folgestudie die Versuchspersonen aufforderte, aktiv zu beurteilen, ob die Prosodie des Satzes und das anschließende Wort zusammenpassen würden. So zeigte sich, zumindest hier, dass die gerichtete Aufmerksamkeit Geschlechtsunterschiede bezüglich emotionaler Verarbeitung beeinflussen kann - in dem Sinne, dass sie sie aufhebt.

¹ Erst wurde ein Satz mit freudiger oder trauriger Sprachmelodie vorgegeben und gleich anschließend ein Wort präsentiert, dessen Valenz zur vorhergehenden Prosodie des Satzes passte oder nicht.

8.5 Zusammengefasste Ergebnisse speziell zu den im Versuch verwendeten

Emotionen: Angst, Ekel und Heiterkeit

8.5.1 Angst

Angst ist sicherlich jene Emotion der im Rahmen der Emotionsforschung die größte Aufmerksamkeit entgegengebracht wurde. Das liegt nicht nur daran, dass sie entwicklungsgeschichtlich gesehen wohl die wichtigste primäre Emotion zur Erhaltung einer Art darstellt, sondern auch daran, dass sie im experimentellen Setting relativ einfach induziert und überprüft werden kann. Bei 60% aller neurowissenschaftlicher Studien zum Thema Angst steht eine Struktur im Mittelpunkt: die Amygdala (Phan et al, 2001). Die Mandelkerne scheinen Dreh- und Angelpunkt für Evaluierung emotionaler Reize, Generierung und Aufrechterhaltung der Emotion Angst zu sein. Bestätigungen in diese Richtung kommen aus zahlreichen Untersuchungen, darunter auch die Angstkonditionierungsversuche von J. LeDoux, denen ein beträchtlicher Anteil des Wissens um die Verarbeitungsprozesse emotionaler Reize und Zustände in der Amygdala zu verdanken ist.

Generell ist anzumerken, dass bei den meisten Studien zur Emotion Angst, wenn es sich nicht um einen Tierversuch handelt, visuelles Stimulusmaterial vorgegeben wird. Hierbei handelt es sich aber um recht unterschiedliches Reizmaterial – die Bandbreite reicht von Bildern mit ängstlichem Gesichtsausdruck, Bilder mit phobogenem Inhalt, über kurze angstausslösende Filme bis hin zu angstbesetzten Wörtern. Als Versuchsgruppen werden außerdem sehr häufig, aus nahe liegenden Gründen, Angst- und Phobiepatienten ausgewählt. In einem Überblicksartikel von Pauli, 2001, über einige ERP- Untersuchungen zur Emotion Angst, findet der Autor keine Studie, in der zwischen positiven und negativen Emotionen, hinsichtlich der späten starken Positivierung im EEG, signifikante Unterschiede bei gesunden Probanden auftreten. Nur bei Versuchsgruppen mit Angstpatienten würden Unterschiede erkennbar werden.

In zwei fMRI Untersuchungen (Dilger et al., 2003; Schienle et al., 2007) in denen phobogenes Stimulusmaterial Angstpatienten und gesunden Kontrollprobanden vorgegeben wurden, ergab sich, nicht überraschend, eine verstärkte Aktivität der Amygdala bei den Probanden mit Phobie. Einen Gegensatz zeigen dieselben Studien aber, was die Aktivität im OFC betrifft. Während Dilger et al. eine höhere Aktivierung bei Phobikern im Vergleich zur Kontrollgruppe fanden, sprechen die Ergebnisse von Schienle et al. von einer signifikant schwächeren OFC – Aktivität, die im Verlauf einer Woche nach therapeutischer Behandlung im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, welche noch nicht in Genuss einer Therapie gekommen war, signifikant anstieg. Die Grazer Forscher um Schienle schlossen daraus, dass

eine erfolgreiche therapeutische Phobie-Behandlung durch funktionale Veränderungen im medialen OFC begleitet wird.

In einer Diplomarbeit des BRL (Gerstmayer, 1999) mit phobogenem (Spinnen-, und Schlangenbilder), aversivem und neutralem Stimulusmaterial konnten bei nichtphobischen weiblichen Versuchspersonen 250 ms post stimulus zwischen allen Bedingungen signifikante Unterschiede festgestellt werden. Auch hier ergab sich in den Emotionsbedingungen eine starke frontozentrale bis temporale Positivierung sowie, vor allem in den phobogenen Bedingungen, ein massiver, parietaler P300 – Effekt. Im BRL wurde die verstärkte P300 bei den Schlangen- und Spinnenbildern als Hinweis gewertet, dass phylogenetisch bedeutsame Reize anders verarbeitet werden als allgemein aversive. Interessanterweise empfanden die Versuchspersonen subjektiv die aversiven Bilder als noch unangenehmer als die Schlangen- und Spinnenbilder.¹ Eine spezielle Verarbeitung von Spinnenbildern, bzw. in dieser Studie von schematischen Spinnenabbildern, fanden auch Kolassa et al., 2006. In der ERP - Untersuchung zeigten sowohl Agoraphobepatienten als auch Soziophobiker und gesunde Kontrollprobanden eine signifikant größere N170 – Amplitude bei der schematischen Vorgabe von Spinnenbildern als bei den Umrissen einer Blume. Den Autoren nach könnte dies einerseits auf einen höheren Aufwand bei der Verarbeitung von Spinnenschemata als von den eher künstlerisch anmutenden Blumenbildern zurückzuführen sein, aber andererseits auch einen corticalen Prozess widerspiegeln, der auf die Verarbeitung angstrelevanter Reize spezialisiert ist. Nur bei den Spinnenphobikern konnten größere Amplituden der P300 und P400, mit Maxima an den zentralen Elektroden, in der phobogenen Bedingung registriert werden. In beiden Phobiegruppen kam es im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zu einer verstärkten P100, was auf eine allgemeine Hypervigilanz bei Angstpatienten und ein erhöhtes Aufmerksamkeitsniveau bei der Verarbeitung eintreffender Reize hindeutet.

Eine auf einen visuellen angstbezogenen Reiz selektiv erhöhte P100 - Komponente im lateralen Occipital- und inferioren Temporalcortex konnte auch in einer Untersuchung zu räumlicher Aufmerksamkeit und Emotionen (Pourtois et al., 2004) nachgewiesen werden. Die Versuchspersonen mussten dabei die räumliche Orientierung eines am Bildschirm erscheinenden Balkens benennen. Vor Präsentation des Balkens wurden kurz paarweise Gesichter mit neutraler oder emotionaler (glücklicher, ängstlicher) Mimik dargeboten. Erschien der Balken dann auf dem Platz eines ängstlichen Gesichts führte dies nicht nur zu einer verstärkten occipitalen P100 sondern die Probanden waren auch besser bei der Diskrimination der räumlichen Orientierung des Balkens. Dieser Effekt trat nicht auf, wenn der Balken ein glückliches oder neutrales Gesicht ersetzte. Zudem konnte festgestellt werden, dass die

¹ Genauerer zu erwähnter Diplomarbeit kann im Kapitel 7.2.1 „Ereigniskorrelierte Potentiale, DC-Potentiale und Emotionen“, Seite 59, nachgelesen werden.

frühe visuell evozierte Komponente C1 (~ 90 ms), deren Generator mittels LORETA occipital im Streifencortex lokalisiert wurde, sensitiv auf die emotionale Valenz reagierte. Die Amplitude der C1 war signifikant höher bei ängstlichen als bei glücklichen Gesichtern. Als „Urheber“ dieses Effekts gilt die Amygdala, deren schnelle Projektionen zu einer verstärkten Aktivierung des primären visuellen Cortex bei angstrelevanten Reizen führen könnten. Eine schnellere Verarbeitung zugunsten angstrelevanter Reize sehen auch Williams et al., 2006, in ihrer, sehr umfangreichen, ERP-Studie bestätigt. Bei insgesamt 219 gesunden Probanden wurden diverse ERP- Komponenten, angefangen von der N80 bis hin zur P300, registriert und mit LORETA anatomisch lokalisiert. Die Vorgabe von Bildern mit angsterfüllten Gesichtern wurde dabei begleitet von einer verstärkten, anfänglich frontotemporalen, später über weite Teile des Cortex verteilten und schließlich wieder auf frontotemporal zurückgezogenen, Positivierung. Beim Betrachten der glücklichen Gesichter hingegen kam es nur zu einer schwach erhöhten Negativierung, mit einer längeren Latenz als die Positivierung der negativen Bedingung, und lokal auf den fusiformen Gyrus im Temporallappen begrenzt. Die großflächige Positivierung in der Angstbedingung reflektiert die „doppelte“ Reizverarbeitung über zwei neuronale Bahnen, eine schnelle und eine genaue für die strukturelle Enkodierung. Dagegen scheint die Verarbeitung positiver Stimuli lokalisierter und nur auf dem langsameren Weg der sensorischen Enkodierungshierarchie zu basieren.

8.5.2 Ekel

Ekel ist wie die Angst eine negative Emotion mit Verhaltenskonsequenzen wie Vermeidung. Folglich wäre es schlüssig anzunehmen, dass bei Ekel zum Teil die gleichen Strukturen aktiv sind wie bei Angst. Möglicher Kandidat hierfür wäre die Amygdala, die bei Furcht, aber ebenso wahrscheinlich generell bei der Evaluierung emotionaler Reize, eine erhebliche Rolle spielt. Hinweise, dass die Amygdala auch Prozesse zur Emotion Ekel unterstützt, gibt es aus Läsionsstudien (Calder et al., 2000; Adolphs et al., 1996). Allerdings ist zu diesen Studienergebnissen zu sagen, dass sie erstens aus Läsionsstudien resultieren, wobei eben nicht nur die Amygdala sondern auch andere Strukturen des Gehirns geschädigt waren, und daher ein direkter kausaler Zusammenhang mit dem Ausfall der Mandelkerne und den Störungen zu Ekel nicht eindeutig interpretiert werden kann. Und zweitens, war das Versuchsdesign meist auf Erkennen emotionaler Gesichtsmimik aufgebaut. Dieser Umstand hat insofern Relevanz, zumal Rolls 1992 im Tierversuch nachweisen konnte, dass es in der Amygdala von Affen eine Gruppe von Zellen gibt, die primär auf Gesichter reagieren. Ausfälle beim Erkennen von angeekelten Gesichtern bei Amygdalaläsionen könnten demnach auf eine generelle Schwäche bei der Wahrnehmung von Gesichtern und ihres emotionalen Ausdruckes zurückzuführen sein. Der indirekte Rückschluß, dass die Amygdala an Ekelprozessen beteiligt ist, erscheint dadurch kritisch, vielmehr

deuten diverse Studien darauf hin, dass sie allgemein an Verarbeitungsprozessen negativer Reize Anteil hat (z. B.: Adolphs et al., 1996, Sprengelmeyer et al., 1999). Eine verstärkte Aktivität der linken Amygdala beim expliziten Erkennen der Emotion Ekel in einem Gesicht, die M. L. Gorno-Tempini et al. (2000) fanden, wird von den Autoren ebenfalls auf die allgemeine Funktion der Amygdala bei negativen Reizen zurückgeführt. Explizite sowie implizite Wahrnehmung emotionalen Gesichtsausdruckes (Ekel, Heiterkeit) und mögliche Unterschiede bei Aktivitätsniveau und Lokalisation waren Inhalt dieser fMRI-Studie. Eine erhöhte neuronale Erregung beim expliziten Wahrnehmen eines Ekelausdrucks ließ sich außerdem im rechten Striatum mit dem Nucleus Caudatus feststellen. Dies deckt sich mit Erkenntnissen der Läsionsforschung, wo Patienten mit Läsionen oder Erkrankungen der Basalganglien, nicht mehr in der Lage sind Zeichen für Ekel zu identifizieren (Gray et al., 1997, Sprengelmeyer et al., 1997, nach Gorno-Tempini et al., 2000). Gegen eine direkte Beteiligung des N. Caudatus an Ekelprozessen spricht aber eine Studie von Phillips et al. (1998). Auch hier wurden Versuchspersonen Bilder mit verschiedenen Gesichtsausdrücken vorgegeben. Allerdings identifizierte die Forschergruppe die Insula als Ort erhöhter neuronaler Aktivität bei Präsentation von Ekelmimik. Die Insula scheint im Rahmen von Ekelprozessen eine Rolle zu spielen. Dies wurde in mehreren Untersuchungen (Phillips et al., 2000; Wicker et al., 2003; Calder et al., 2007; Wright et al., 2004; Stark et al., 2007; Sambataro et al., 2006) ersichtlich. Dagegen weist die Studie von Gorno-Tempini et al. (2000) auf eine eher allgemeinere Funktion der Insula beim Wahrnehmen von Emotionen hin. Gemeinsam mit dem rechten frontalen Cortex wurde die Insula immer bei der Bewertung eines beliebigen emotionalen Ausdrucks eines Gesichts aktiviert. Hingegen bei der Wahrnehmung von ekelerregenden Gerüchen und Geschmäckern, spielt die Insel eine gewichtige Rolle (Royet et al., 2003; Small et al., 2003; Zald and Bardo, 2000; Zald et al., 1998; Aufzählung nach Wicker et al., 2003) – u.a. weil sie schließlich ein assoziatives Areal für chemische Reize ist. Wicker et al., 2003, stellten in einer fMRI – Studie fest, dass der anteriore Teil der Insel sowohl beim Riechen ungestörter Gerüche als auch beim Betrachten von Ekel darstellenden Gesichtsmimikfotos aktiviert wurde. Die Forschergruppe zieht daraus den Schluss, dass es für Ekel ein gemeinsames Substrat gibt, was die Wahrnehmung wie auch das Empfinden dieser Emotion anlangt. Schienle et al., 2002, hingegen postulierten in einer fMRI – Studie, dass es keine Evidenz für eine spezielle Beteiligung der Insula an der Verarbeitung von Ekel gäbe, sondern dass die Insel eine Funktion bei Emotionsprozessen generell ausübe. Allerdings wurden in dieser Untersuchung keine Fotos mit Gesichtsmimik vorgegeben sondern ekelerregende Szenen. Was auch Wright et al., 2004, taten, und ihre Resultate wiederum für eine spezielle Beteiligung der Insel an Ekelprozessen interpretierten. Eine Rolle scheint auch zu spielen ob die Verarbeitung des vorgegebenen Reizmaterials bewusst oder unbewusst stattfindet. Phillips et al., 2004, fanden nur in der „offenen“ Ekel-Bedingung im Gegensatz zur verdeckten Bedingung eine Aktivität in der Insel. Überhaupt präsentieren sich die

Ergebnisse der diversen Untersuchungen zur Emotion Ekel recht uneinheitlich. Um dieses inhomogene Bild zu komplettieren sei an dieser Stelle noch eine PET- Studie von Lang et al. (1998) erwähnt, in der Filmsequenzen vorgegeben wurden. Beispielsweise im Ausschnitt zur Ekelbedingung läuft eine Ratte über das Gesicht eines schlafenden Mannes. Die dabei registrierte signifikante Aktivitätssteigerung fand weder in der Insula noch dem N. Caudatus statt, sondern im Bereich des lateralen Cerebellums. Im EEG – Bereich existieren nur sehr wenige Studien, in denen Ekel als Versuchsbedingung verwendet wurde. Eine davon stammt von Davidson et al., 1990. Die Vorgabe von Filmsequenzen ging bei der Emotion Ekel mit einer reduzierten frontalen rechtshemisphärischen α – Aktivität einher, was in Einklang zur Theorie der Hemisphärenlateralisation von emotionalen Reizen steht, die besagt, dass negative Emotionen eine stärkere rechtsseitige Aktivität auslösen.

8.5.3 Heiterkeit

Waren schon bei der Emotion Ekel die Untersuchungsergebnisse recht widersprüchlich, so ist es bei Heiterkeit oder positiver Emotion nicht anders. Auch hier lassen sich keine eindeutigen neuralen Muster identifizieren, die primär für Prozesse bei positiven Emotionen zuständig sind.

Ein Hirnkerengebiet, das eng mit Belohnung und damit mit Freude in Verbindung gebracht wird, ist der Nucleus Accumbens (NAc). Eine Reihe von Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren zeigen seine Beteiligung an Prozessen positiver Emotionen (u.a. Lane et al., 1997; Gardner, Vorel, 1998; Crespo-Facorro et al., 2001; Aharon et al., 2001), wie beispielsweise beim Betrachten schöner Gesichter – hier stellte die Forschergruppe um Aharon (2001) in einer fMRI-Studie fest, dass es bei Männern, wenn sie attraktive Frauengesichter dargeboten bekamen, zu einer Aktivierung des Belohnungskreislaufes rund um den NAc kam. Auf die Bedeutung des NAc kann auch auf inversem Weg geschlossen werden, das heißt, man untersucht, was passiert, wenn seine Funktion blockiert wird. Im Tierversuch wurde hierzu (nach Voruganti, L., et al., 2001) die Dopamin-Ausschüttung im NAc verhindert, was zu einer vorübergehenden Dysphorie führte. Eine durchaus verstärkte Aktivierung des NAc konnte im Humanversuch bei filminduzierter Heiterkeit beobachtet werden (Lane et al., 1997). Daneben waren auch die linke Amygdala, der mediale posteriore Gyrus Cinguli sowie bilateral der Globus Pallidus und der Nucleus caudatus aktiv. Die Aktivität der Basalganglienstrukturen spiegelt sich auch wieder in der Metaanalyse zu Ergebnissen aus Emotionsstudien von Phan et al. (2002). In annähernd 70% aller Fälle bzw. Studien wird über eine Aktivierung der Basalganglien bei heiteren Stimuli, wie glückliche Gesichter, angenehme Bilder, Erinnerungen, das Gefühl des Gewinnens oder auch sexueller Reize, berichtet. Die Vorgabe derartiger Stimuli resultierte in einer stärkeren Aktivität des ventralen Striatums und des Putamens. Geht man von Davidsons Theorie aus, in der er den positiven Affekt als eine „Annäherungsemotion“ definiert, scheint die ausgedehnte Aktivitätssteigerung in den Basalganglien bei

positiven Emotionen durchaus schlüssig. Basierend auf der starken dopaminergen Innervation mesolimbischer Neurone stellen die Basalganglien einen idealen Ausgangspunkt für die positive Motivation eine Belohnung zu bekommen bzw. für Vorfreude dar. Bei Entscheidungsprozessen, die mit Belohnung verbunden sind, spielt der Orbitofrontalcortex (OFC) eine wichtige Rolle (Paradiso et al., 1999; Elliott et al., 2000; Small et al., 2001). Nach Rolls (2005) ist dies der Bereich, der die Reiz - Verstärkungsmechanismen v.a. eben bei zu erwartender Belohnung etabliert. So zeigt sich experimentell beim Erkennen und Beurteilen von glücklichen Gesichtern eine erhöhte Aktivität bilateral im OFC (Gorno-Tempini et al., 2000). Um mittels fMRI die neuralen Basismechanismen bei Traurigkeit und Heiterkeit erfassen zu können gaben Goldin et al., 2005, 2 minütige Filmclips vor. In der Heiterkeitsbedingung kam es zu signifikanten Aktivitäten im medialen, inferioren frontalen Gyrus, im dorsolateralen PFC, im posterioren Teil des Gyrus Cinguli, den Temporallappen, im Hippocampus, Thalamus und dem N. Caudatus. Eine interessante Arbeit verfasste die Gruppe um Small (2001). Als positiven Reiz verwendete man bei dieser Untersuchung den Genuss von Schokolade, und ebenso als Induktionsmittel für negative Gefühle und zwar durch „Überessen“ an Schokolade. Ergebnis dieser PET-Studie war eine gegengleiche Aktivität im OFC – beim Genießen der Schokolade zeigte sich im caudomedialen OFC erhöhte Aktivität, während bei einem zuviel an Schokolade der caudolaterale OFC stärker aktiviert wurde. Hier spiegelt sich, laut Autoren, eine funktionale Trennung in Bezug auf die neurale Repräsentation von Belohnung und Bestrafung wieder. Ebenfalls eine gesteigerte orbitofrontale Aktivität stellten Maratos et al. (2001) beim Erkennen von Wörtern mit positivem Kontext im Vergleich zu neutralen Wörtern fest. Eine erhöhte Aktivität gab es zudem auch bilateral präfrontal und im linken anterioren Temporallappen. Einen Signalanstieg im medialen frontalen Cortex beim Bewerten positiven Gesichtsausdruckes fanden Phillips et al. (1998). An diesem Erkennungsprozess beteiligt waren ebenfalls, neben dem Gyrus Supramarginalis, der anteriore wie posteriore Gyrus Cinguli. In beiden Arealen dieser Struktur konnte eine Erhöhung der Aktivität bei heiterer Mimik registriert werden, wobei sich der Anstieg posterior bilateral ausbreitete, hingegen anterior links lateralisiert war. Eine nichtsignifikante Aktivitätssteigerung im anterioren Gyrus Cinguli bei transienter Heiterkeit konnten George et al. (1995) mittels PET feststellen. Das auffälligere Ergebnis allerdings war bei dieser Untersuchung die ausgedehnte Durchblutungsreduktion im rechten präfrontalen Cortex und bilateral in der Temporoparietalregion. Gleiches, also ein Hypometabolismus in den sekundären Assoziationszentren, ließ sich experimentell (Ketter et al. nach George et al., 1995) auch durch procaininduzierte Euphorie auslösen. Neben der Chemie, visuellen oder akustischen Stimuli gibt es noch eine weitere, wenn auch nicht unumstrittene, Möglichkeit positive Stimmung für Experimente zu erzeugen: Hypnose oder Trancezustände. Der Meditation bedienten sich Aftanas und Golocheikine (2001) um eine Frequenzpowerspektrumsanalyse und eine Kohärenzschätzung bei meditativer positiver

Gestimmtheit durchzuführen. Sie stellten eine erhöhte anteriore frontale und zentrale Thetabandsynchronisierung fest. Ebenfalls im Thetabereich trat bei der Kohärenzschätzung eine verstärkte Verbindung zwischen präfrontalem und posteriorem Assoziationscortex zutage. Der Schwerpunkt der Thetaaktivität lag links präfrontal (auf der Elektrode AF3). Die subjektiven ratings für die emotional positive Erfahrung während der Meditation korrelierten positiv mit der Thetaaktivität. Dagegen ließ sich in Hypnose während einer positiven emotionalen Stimmung eine gesteigerte Gammabandaktivität links frontal und zentral beobachten (De-Pascalis et al., 1998). Die Ergebnisse aus Versuchen, in denen mittels Trance oder Hypnose eine bestimmte emotionale Gestimmtheit induziert wird, sind, handelt es sich schließlich um veränderte Bewußtseinszustände und infolge um veränderte Hirnaktivität im Vergleich zum Wachsein, schwer interpretierbar. Die Differenzierung positiv – mehr Aktivität links, dagegen negativ – mehr rechts, wie im Kapitel „Hemisphärenasymmetrie“ ausführlich besprochen, konnte allerdings im eben erwähnten Versuch zum Teil auch in Hypnose nachvollzogen werden. Bei negativer, bzw. trauriger Gestimmtheit, kam es zu einem signifikanten Anstieg der 40 Hertz – Aktivität in der rechten Hemisphäre, v.a. zentral sowie posterior. Neben den Frequenzanalysen geben auch die evozierten Potentiale Auskunft über elektrokortikale Verarbeitungsprozesse bei positiven Emotionen. Wie bereits beschrieben, reflektiert eine ausgedehnte positive slow wave, hauptsächlich fronto-zentral, im Allgemeinen emotionale Reizverarbeitung. Auf diese lässt sich invers auch über die Registrierung durch Emotionen gehemmter Aufmerksamkeitsprozesse schließen. So geschehen bei Morita et al. (2001). Sie berichten von einer signifikant stärkeren Reduktion der P300 Amplitude bei positiven Reizen im Vergleich zu negativen und neutralen. Registriert wurden durch immer gleiche Töne induzierte AEPs (akustisch evozierte Potentiale), im Besonderen die P300, als kognitives Maß bzw. abhängige Variable, die durch gleichzeitig dargebotene Bilder mit emotionalen Gesichtsmimiken beeinflusst werden sollte. Bei Bildern mit positiv gestimmten Gesichtern reduzierte sich die akustisch induzierte P300 am stärksten gefolgt von negativen Mimikbildern und schließlich der geringste P300-Rückgang bei neutralen Fotos.

II) EMPIRISCHER TEIL

9 Hypothesen

Grundsätzlich zeigt sich in den meisten ERP/DC – Untersuchungen, dass emotionale Bedingungen jeglicher Valenz eine stärkere cortikale Oberflächenpositivierung nach sich ziehen (Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000; Kalusch-Klug, 1999; Fretska, 1999; Pauli, 2001;). Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird prinzipiell auch davon ausgegangen, allerdings steht im Mittelpunkt des Interesses, wie sich die „emotionale“ Oberflächenpositivierung über einen längeren Zeitraum hin entwickelt. Es wird angenommen, dass es sich bei diesen späten emotionalen Komponenten tatsächlich auch um bewusst empfundenen Emotionen handelt – und eventuell sichtbare DC-topographische Unterschiede mit tatsächlich verschieden gefühlten Emotionen in Zusammenhang gebracht werden können. Generell beziehen sich alle bislang in EEG - Forschungsarbeiten gefundenen emotionalen Differenzierungen auf die Zeit bis maximal 5 sec post Stimulusbeginn – was darüberhinausgeht, ist nur noch in fMRI und PET – Untersuchungen oder Frequenzbandanalysen zu finden. Daher stellen sich für den Bereich der DC-Potentiale folgende Fragen: Verändert sich die Topographie der DC-Potentiale mit Dauer der Emotionsstimuli? Treten Unterschiede zwischen den einzelnen Emotionen hinsichtlich der DC-Potentiale auch noch in späteren Zeitbereichen auf? Eine Reihe von Studien (Wik et al., 1993; Fredrikson, 1995, 1997; Schupp et al., 2000; Sato et al., 2001; Carretié et al., 2004, 2001; Sabatinelli et al., 2007) belegt, dass die Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Stimuli unterschiedlich zu neutralen Reizen erfolgt. Fredrikson et al. (1995) konnten zeigen, dass während der Verarbeitung visueller, emotionaler Stimuli die Durchblutung der okzipitalen, visuellen Areale höher ist als bei „neutraler“ Reizverarbeitung. Diese, wahrscheinlich über die Amygdala initiierte verbesserte Signalverarbeitung bei relevanten Reizen, wurde auch in einer Arbeit von Lang et al. (1998) gefunden. Dass sogar zwischen verschiedenen Negativbedingungen trotz gleicher Valenz und Verhaltenstendenz Unterschiede auftreten, konnte in der Diplomarbeit von Gerstmayer, 1999, nachgewiesen werden. Allerdings, wie bereits erwähnt, traten hier die signifikanten Unterschiede bezüglich Amplitude und Topographie bei der P300 zutage. Exogene und/oder endogene Komponenten der evozierten Potentiale bei der Verarbeitung emotionalen Reizmaterials werden in dieser Arbeit aber nicht erhoben. Es soll versucht werden Unterschiede zwischen verschiedenen emotionalen und „neutralen“ Informationsverarbeitungsprozessen auch noch in einem späteren Zeitfenster ab 10 sec post Stimulusbeginn nachzuweisen. Basierend auf oben angeführten Studien wird angenommen, dass auch noch später Unterschiede auftreten. Das heißt, dass es in den Emotionsbedingungen zu einer signifikant stärkeren DC-Positivierung als in der Neutralbedingung kommt – und – dass sich auch für die drei Emotionsbedingungen selbst unterschiedliche Potentialverläufe zeigen. Die formulierten Hypothesen lauten wie folgt:

H1) „Das Betrachten von Filmen verschiedener emotionaler Qualitäten führt zu differenzierten langsamen Potentialverteilungen (Amplitudenwerte, DC-Topographie), wobei es bei Emotionen negativer Valenz zu einer stärkeren Oberflächenpositivierung kommt.“

H2) „Das Betrachten verschieden emotionaler und neutraler Filme löst differenzierte Potentialverteilungen (Amplitudenmittelwerte, DC-Topographien) aus, wobei die Oberflächenpotentiale bei den emotionalen Filmsequenzen eine signifikant stärkere Positivierung aufweisen.“

Für jede der drei gewählten Emotionskategorien (Angst, Ekel und Heiterkeit) gibt es Hinweise auf verschiedene Strukturen die am jeweiligen Emotionsprozess vorwiegend beteiligt sind - wie die Amygdala bei Angst (Phan et al, 2001), die Insula bei Ekel (Wicker et al., 2003) oder der Nucleus Accumbens bei Heiterkeit (Lane et al., 1997). Aus einer Arbeit von Esslen et al. (2004) geht hervor, dass die Unterschiede zwischen den Emotionen nicht in ihrer Lokalisation, sondern im räumlich – zeitlichen Verlaufsmuster liegen. Das heißt, die innervierten Strukturen sind annähernd die gleichen, aber der zeitliche Verlauf ihrer Aktivität differiert. Die LORETA – Daten erwähnter Studie deuten darauf hin, dass die neuronalen Generatoren für Aktivierungen bei emotionalen Prozessen vor allem im frontotemporalen Bereich zu finden sind. Ähnliche Ergebnisse werden auch bei diesem Experiment erwartet. Eine Analyse der neuronalen Generatoren mittels sLORETA soll sowohl die Ausgangsorte für die gemessenen kortikalen langsamen Potentiale ausweisen, als auch beim Vergleich der Emotionen mögliche unterschiedlich aktive Generatoren zeigen. Speziell bei filminduzierten Emotionen fanden Reiman et al. (1997) eine signifikante Aktivitätssteigerung im occipitotemporoparietalen Cortex, im lateralen Cerebellum und Hypothalamus, in der Amygdala, der hippocampalen Formation und im anterioren Temporallappen. Sowohl bei den Filmen als auch emotionalen Erinnerungen konnte ein deutlicher Anstieg im Thalamus und im medialen PFC registriert werden.

Unterschiede werden bei den SCPs dieses Experiments nicht nur zwischen den verschiedenen Emotionsbedingungen erwartet, sondern auch zwischen den beiden Gruppen – Frauen und Männern. Eine lange Reihe von Studien (Choti et al., 1987; Greenwall et al., 1989; Gross, Levenson, 1993; Schwarz et al., 1980; nach Kring, Gordon, 1998) belegt, dass Frauen ihre Emotionen subjektiv stärker einschätzen und ausdrücken als Männer, aber auch auf neurophysiologischer Basis scheint es unterschiedliche Verarbeitungsmechanismen für Emotionen bei Frauen und Männern zu geben (Canli et al., 2002; Cahill et al., 2004; Mackiewicz et al., 2006; Koch et al., 2007). Basierend auf den in dieser Diplomarbeit erwähnten Studien zu Geschlechtsunterschieden (siehe Kap. 8.4, S. 55) lässt sich grob überblicksmäßig sagen, dass Frauen bei emotionalen Prozessen mehr Hirnareale aktivieren als Männer. Dieser Unterschied sollte sich in den Ergebnissen dieses Experiments ebenfalls widerspiegeln, was in der dritten Hypothese Ausdruck findet:

H3) „Beim Betrachten emotionaler Filmsequenzen unterscheiden sich Männer und Frauen hinsichtlich der gemessenen langsamen Potentiale.“

Und schließlich zeigt sich bei vielen Untersuchungen zu Emotionsprozessen, dass diese oft lateralisiert mit Schwerpunkt in der rechten Hemisphäre stattfinden (siehe Kap. 8.3, S. 52) - so gesehen in Arbeiten des BRL (Kalusch-Klug, 1999; Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000), und internationalen Studien wie z. B. von Spence et al., 1996, oder Bowers et al., 1985. Die genauen Hintergründe für die Hemisphärenlateralisierung sind noch nicht hinreichend geklärt und auch die Lateralisierung selbst konnte in vielen Arbeiten nicht repliziert werden, wie eine Metastudie (Wager et al., 2002) zeigt. Eine weitere Hypothese zur emotionalen Hemisphärenpräferenz spricht von einer unterschiedlichen Hemisphärenpezialisierung in Abhängigkeit von der Valenz der Emotion (Davidson, 1998; siehe Kap. , S.). Positive Emotionen gehen demnach einher mit einer stärkeren linksseitigen Aktivität im PFC, während negative Emotionen für eine stärkere rechtsseitige Aktivität im PFC sorgen. Murphy et al., 2003, hingegen meinen, dass die Hemisphärenlateralität weniger von der Valenz einer Emotion als von ihrer jeweiligen Verhaltensdimension – Annäherung bzw. Vermeidung - abhängig sei. In Anlehnung an die erwähnten Ergebnisse wurde für den Lateralisationsaspekt der emotionalen Verarbeitung die folgende Hypothese formuliert:

H4) „Wenn emotionale Filmsequenzen angesehen werden, kommt es bei den DC-Potentialen zu einer Hemisphärenlateralisierung mit Betonung der rechten Hirnhälfte.“

Das Itemmaterial in diesem Experiment stellen ca. einminütige Filmsequenzen dar, zu denen nicht nur objektive Daten – die langsamen Potentiale – sondern auch subjektive Daten zu den empfundenen Emotionen erhoben wurden. Auch hier werden Unterschiede zwischen den einzelnen Emotionsbedingungen und der Neutralbedingung erwartet, was beweisen soll, dass die ausgewählten Filmsequenzen auch die gewünschten Emotionen mit entsprechender Intensität subjektiv bei den ProbandInnen auslösen. Daneben sollte sich, basierend auf einer langen Reihe von Untersuchungen (siehe Kring, Gordon, 1998) auch ein Gruppenunterschied bezüglich der Intensität der empfundenen Emotion zeigen, nämlich in dem Sinne, dass Frauen ihre Emotionen deutlich intensiver bewerten als Männer.

10 Versuchsdesign

Zur Datenerhebung wurde ein DC-EEG mit 22 Kanälen abgeleitet, während den Testpersonen 55, ca. einminütige, Filmausschnitte zu den drei Emotionsqualitäten Angst, Ekel und Heiterkeit sowie neutrale – emotionslose Sequenzen dargeboten wurden. Neben den objektiven wurden auch subjektive Daten gesammelt. Nach jedem Ausschnitt machten die Versuchspersonen auf einem vorgefertigten Fragebogen (FB) Angaben zur eben durch den Film induzierten Emotion/Nichtemotion und deren Intensität. Die Instruktionen wurden schriftlich vorgegeben – wobei sie Verhaltensregeln während der EEG-Aufzeichnung beinhalteten (nicht bewegen, möglichst keine Gesichtsmimik, etc.), sowie Anweisungen für das Starten der Sequenzen und das anschließende Ausfüllen des FBs.

Die SCPs wurden gestaffelt gemittelt (Sequentiell Epochs Average, SEA – siehe Kap. 12.2, S. 86). Dabei ist es zwar nicht möglich endogene evozierte Komponenten darzustellen und auch ein analoger zeitlicher Verlauf geht verloren, aufgrund der Fragestellung (von Interesse sind die DC-topographischen Veränderungen ab 10 sec post Stimulusbeginn) und um auf eine ausreichend großen Anzahl an Trials zum Mitteln zu kommen war diese Form des Average aber gerechtfertigt.

Die Analyse der Daten erfolgte sowohl inferenzstatistisch anhand von Varianzanalysen mit Messwiederholung, Linearen Kontrasten und Diskriminanzanalysen, als auch deskriptiv mittels sLORETA und SCP/CSD – Maps. In die diversen Analysen gingen sowohl die Originaldaten als auch Subtraktionsdaten ein. Dabei wurde die Aktivität der Neutralbedingung, bei der nur die Informationsverarbeitung bei neutraler Filmbeobachtung erfasst wird, von jeder der drei Emotionsbedingungen subtrahiert, um quasi die „reine“ emotionale Restaktivität zu erhalten und kognitive Komponenten zu eliminieren.

Durchgeführt wurde das Experiment im Kellerlabor des Brain Research Lab am Institut für Psychologie der Universität Wien.

10.1 ProbandInnen

Die Versuchspersonen waren entweder Studenten der Psychologie an der Universität Wien oder bereitwillige Testpersonen aus meinem Freundeskreis. Im Schnitt waren die Teilnehmer ca. 29 Jahre (20; 38) alt.

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	23	20	38	28,59	5,032
weiblich	11	20	32	25,71	3,625
männlich	12	24	38	31,27	4,743

Tab. I

Insgesamt wurden 36 Aufnahmen gestartet, 7 davon konnten wegen technischer Probleme nicht zu Ende gebracht werden. Von den übrigen 29 Aufnahmen gingen nach Artefaktbereinigung 23 in die Datenanalyse ein. Die meisten Datenausfälle waren in der Bedingung „Neutral“ zu beklagen. Wegen der geringeren Anzahl an Vorgaben (10/Versuch im Gegensatz zu 15 für Angst u. Ekel, bzw. 20 für Heiterkeit) wirkten sich hier Artefakte stärker aus.

10.2 Ablauf des Experimentes

Die Vorgabe der Filmsequenzen über Computer erfolgte in einem kleinen Versuchsraum, in dem sich nur der Proband aufhielt. Der Raum war, bis auf eine kleine Lichtquelle, abgedunkelt sowie schallgedämpft, um zu verhindern, dass Geräusche aus dem Versuchsleiterräum die Versuchsperson von ihrer eigentlichen Aufgabe ablenken und es dadurch zu EEG-Verfälschungen kommt. Die Instruktionen zum Versuch wurden dem Probanden in Form einer schriftlichen Anleitung gegeben. Sie enthielt neben der Bitte während der Filmvorgabe keine Bewegung zu machen, Erklärungen zur Handhabung des Startknopfes für die Filmwiedergabe und zu den Emotionsfragebögen (siehe Anhang IV, S. 162).

Sobald die Versuchsperson in angenehmer Sitzposition vor dem Computerbildschirm ruhig saß, konnte sie die erste Filmsequenz starten, indem sie einen Knopf auf einem kleinen schwarzen Kästchen drückte. Um unnötige Bewegungen zu vermeiden, hatten die meisten der getesteten Personen dieses Kästchen am Schoß liegen. Nach erfolgtem Tastendruck war erst 2 sec lang ein gescrambeltes Bild zu sehen, danach begann der Kurzfilm. War dieser zu Ende, erschien auf dem Bildschirm ein rotes Kreuz auf schwarzem Hintergrund. Nun musste der Proband auf einem Fragebogen eintragen, ob überhaupt

eine und wenn ja welche Emotion bei ihm ausgelöst wurde, und wie intensiv diese war. Befand er sich dann wieder in bequemer Position und war das rote Kreuz in der Zwischenzeit grün geworden, konnte die nächste Filmsequenz mit Tastendruck gestartet werden. Dieser Modus galt für alle 55 Ausschnitte der beiden Abfolgen. Da die Interstimulusintervalle flexibel gehalten wurden, war auch die Dauer des Versuches individuell. Sie reichte von minimum 1 Stunde 40 Minuten bis zu über 2 Stunden. Zwischenzeitlich konnten, wenn die Versuchsperson es wünschte, längere Pausen eingelegt werden. Dies erwies sich als vorteilhaft, was das Vermeiden von Bewegungsartefakten während der Aufnahme betraf.

10.3 Abfolge der Filme

Für diese Untersuchung wurden zwei Filmabläufe generiert. Die Filmsequenzen waren die gleichen, nur ihre Anordnung verschieden. Einerseits durfte der Versuch nicht zu lange werden, gleichzeitig mussten aber auch genügend Sequenzen zum Mitteln zur Verfügung stehen. Das Ergebnis dieses Dilemmas war eine etwas komplizierte Versuchsanordnung der Filme. Insgesamt wurden 25 verschiedene Ausschnitte verwendet, 10 für Heiterkeit und jeweils 5 für Angst, Ekel und Neutral.

In Abfolge 1 wie auch Abfolge 2 wurden die Sequenzen für Heiterkeit und Neutral doppelt vorgegeben. Die Unterschiede zwischen 1 und 2 ergaben sich aus der Anzahl der Wiederholungen der Filme für Angst und Ekel. Ablauf 1 beinhaltete 3 X Angst und 2 X Ekel, bei Ablauf 2 war es umgekehrt. Bei jedem der beiden Filmabläufe wurden also insgesamt 55, verschieden oft wiederholte, Ausschnitte gezeigt. Abfolge 1 wurde fünfzehn, Abfolge 2 vierzehn Versuchspersonen vorgegeben¹, womit sich, letztendlich über alle Versuchspersonen betrachtet, die Anzahl der aufgenommenen EEG-Abschnitte zu Ekel und Angst beinahe ausgleicht, und die Daten statistisch sinnvoll verwertbar waren. Die Alternative, die Sequenzen der beiden negativen Emotionsaspekte dreifach vorzugeben, erschien im Hinblick auf die Motivation der Probanden sowie Dauer und damit Zumutbarkeit des Versuches nicht erstrebenswert. Alleine die Vorgabe der 55 Filmsequenzen dauerte beinahe 2 Stunden.

Die Reihenfolge der Ausschnitte innerhalb der Abläufe wurde so festgelegt, dass jede Emotion mindestens einmal auf jede andere Emotion oder einem neutralen Film folgt (siehe Anhang III, S 161). Abgesehen davon, dass dadurch das Programm für den Probanden etwas abwechslungsreicher gestaltet wurde, war die Reihenfolge der Filme für ihn nicht vorhersehbar. Erwartungshaltung und Einstellung sollten als Störvariablen möglichst wenig Einfluss haben. Durch die Anordnung „jede Emotion auf jede Emotion“ sollten aber auch mögliche Nachwirkungen der vorhergehenden

¹ Bereits ausgeschlossen, sind die 7 Versuche, die aus technischen Gründen abgebrochen werden mussten.

ausgelösten Emotion auf die nächste ausgeglichen werden. Solomon und Corbit (nach Izard, 1994) gehen in ihrer Motivationstheorie der entgegengesetzten Prozesse davon aus, dass ein positiver Affekt einen negativen Affekt nach sich zieht. In ähnlicher Weise kann ein negativer Affekt, wenn er schwächer wird, das Erleben eines positiven Gefühls auslösen. Demnach würde ein eben erlebter Gefühlszustand nicht nur die Intensität sondern auch die Qualität der darauffolgenden Emotion beeinflussen. Insofern wäre es also möglich, dass der Zuseher nach einer Angstsequenz eine anschließende humoristische Szene lustiger wahrnimmt, als wenn diese nach einem ebenfalls heiteren Film dargeboten worden wäre.

10.4 Itemmaterial

Insgesamt 25 verschiedene Filmausschnitte wurden für das Experiment ausgesucht, 10 Sequenzen zu Heiterkeit und jeweils fünf für Angst, Ekel und die neutrale Bedingung.

Die Ausschnitte stammten aus diversen Kino- und Fernsehfilmen. Bei der Auswahl war zu beachten, abgesehen vom emotionalen Inhalt natürlich, dass die Sequenzen in sich geschlossen waren. Damit ist gemeint, dass sie, trotzdem sie aus dem Zusammenhang des übrigen Filmes herausgerissen wurden, eine inhaltlich abgeschlossene Szene zeigen, die für den Betrachter ohne Kenntnis des übrigen Filmes nachvollziehbar und schlüssig ist. Störende Überlegungen zum Inhalt der Sequenzen, die sich letztendlich auf die gemessenen DC-Potentiale auswirken könnten, sollten vermieden werden. Solche Ausschnitte zu finden war kein leichtes Unterfangen, erschwerend kam dazu, dass die maximale Länge der Kurzfilme mit 1 Minute 30 limitiert war. Der Grund dafür lag in der Zumutbarkeit der Versuchsdauer für die Probanden. Nachdem es um die Aufnahme von langsamen Potentialveränderungen ging, war es notwendig eine große Anzahl von Filmen als Stimulusmaterial vorzugeben, um anschließend auf ein ausreichend großes N für das Mittelungsverfahren zu kommen. Wären die Filmsequenzen länger gewesen, hätte dies zu einer wesentlichen, zeitlichen Ausdehnung des Versuchs geführt und letztendlich Einfluss auf die Motivation der Versuchsperson nehmen können. Abgesehen von der Schwierigkeit inhaltlich geschlossene Filmszenen zu finden, sollten diese natürlich auch die gewünschten Emotionen auslösen. Hier bestand das Problem oft darin, dass erst im Zuge eines ganzen Films über Anteilnahme oder Identifikation mit einer Filmfigur Gefühle entstehen. Daher fiel die Wahl meist auf Filme, die vielleicht nicht als cineastisch oder künstlerisch wertvoll einzustufen sind, aber die durch kurze, dramatische Effekte eher eine schnelle Emotionsreaktion erwarten ließen.

10.4.1 Emotionsinduktion durch Filmsequenzen

Das wichtigste Auswahlkriterium war die Wahrscheinlichkeit der Auslösung einer Emotion durch den Film. Grundsätzlich stellt sich dabei natürlich die Frage, wie gut sind Filmsequenzen überhaupt geeignet um experimentell Emotionen zu erzeugen?

Ein Vorteil besteht sicherlich in ihrer Komplexität. Im Gegensatz zu starren Bildern lassen, neben visuellen Stimuli, zusätzliche Komponenten, wie Ton, vor allem Musik, und der dramaturgische Aufbau, Emotionen leichter entstehen. Dramaturgische Veränderungen, wie langsame oder schnelle Schnittfolgen sowie unterschiedliche inhaltliche Spannungsbögen, scheinen sich jedenfalls auf psychophysiologische Reaktionen auszuwirken. Experimentell (Hagfors, 1970, nach P. Wilhelm, 1993) ließ sich feststellen, dass Versuchspersonen zwei Filme mit gleichem Inhalt, aber unterschiedlichen Schnittfolgen und Ablauf, subjektiv als gleich erregend einstufen, gleichzeitig aber ein signifikanter Unterschied zwischen den Sequenzen bezüglich der elektrodermalen Reaktion von Versuchspersonen auftrat. Rein formale Komponenten können also bereits eine physiologische Erregung verursachen, unabhängig vom Inhalt des Filmes. Diese physiologische Erregung lässt sich nicht mit Emotionen vergleichen, könnte aber als deren Verstärker dienen. Daher wäre es sicher von Vorteil im Vorfeld von Experimenten, in denen Emotionen mittels Film induziert werden, diesen daraufhin zu analysieren, welche seiner Komponenten in Zusammenhang mit der beobachteten Reaktion stehen. Dass dies bei meiner Untersuchung nicht gemacht wurde hat zwei Gründe: 1. Der Aufwand, den diese Analyse mit sich bringt, und 2. Da es bei dieser Untersuchung um DC-Potentiale geht, würden sich mögliche einzelne emotionsauslösende Komponenten beim „Averagen“ ausmitteln, einzelne Ereignisse sind nicht von Interesse, es geht schließlich um langsame Potentialveränderungen als Indikator eines neuronalen Aktivitätsniveaus.

Ein weiterer möglicher Kritikpunkt zur Verwendung von Filmsequenzen zur Emotionsinduktion ist die Frage der „Echtheit“ solcher Gefühle. So ist der „Schauer“, der einem während eines spannenden Filmes über den Rücken läuft, nicht das gleiche wie die Angst vor einer drohenden, realen Gefahr, zumal die natürliche Reaktion auf Angst, sich wegzubewegen, zu flüchten, bei einem Film nicht zutrifft. Was im Gehirn wahrscheinlich kognitive Überprüfungsprozesse in Gang setzt – ob die beobachteten Reize tatsächlich z. B. eine Bedrohung darstellen und die dargestellte Emotion auch tatsächlich ausgelöst wird oder werden muss. Die Gewissheit, es kann einem nichts passieren, alles ist Fiktion, lässt einen sitzen bleiben und vielleicht sogar noch eine Art Genuss dabei verspüren – was, wenn es mehrere Vp betrifft zu einer ziemlichen Verfälschung der Daten führen könnte. U. a. aus diesem Grund wurde der Fragebogen vorgegeben um zumindest im Nachhinein feststellen zu können, ob bei den Vp jeweils die „richtige“ Emotion ausgelöst werden konnte. Wobei sich die Frage stellt, ob die Emotion,

deren Messung in Form der langsamen Potentialveränderungen Ziel des Experimentes ist, tatsächlich von der Versuchsperson empfunden oder, weil vom Stimulusmaterial dargestellt, kognitiv generiert wird. Das heißt, der Proband sieht eine Szene, in der eine Frau bedroht wird und alle Anzeichen von Angst zeigt, woraufhin die Versuchsperson selbst ebenfalls angibt Angst gefühlt zu haben. Denkt sie sich nun, sie hätte Angst, weil in der Szene Angst dargestellt wurde, oder passiert durch die Wahrnehmung des emotionalen Stimulus tatsächlich Emotionsinduktion? Wahrscheinlich ist es eine komplexe Mischung all dieser Vorgänge, die bei den einzelnen Probanden auftritt, deren genaue Zusammensetzung sich aber im Rahmen dieser Arbeit leider nicht nachvollziehen lässt.

Der Frage, ob sich spezifische, „reine“ Emotionen überhaupt experimentell erzeugen lassen, ging J. Polivy nach. Nach einer Reihe eigener Experimente sowie zahlreicher Analysen anderer Untersuchungen mit verschiedenen Arten von Emotionsinduktion kommt sie zu dem Schluss, dass dies eigentlich nicht möglich sei. Ihre Kritik stützt sich vor allem auf die Unzulänglichkeit der Untersuchungsinstrumente, wie Skalen und Fragebögen, bezüglich der Erfassung von Formen der Emotionen, welche nicht dezidiert positiv oder negativ sind. Weitere Probleme stellen die individuelle, unterschiedliche Diskriminationsfähigkeit von Gefühlen der Probanden und die fragwürdige Validität von Selbstbeschreibungen emotionalen Erlebens dar (J. Polivy, 1981, nach P. Wilhelm, 1993).

In Anbetracht all dieser Kritikpunkte sowie einer ansprechenden Interpretation der Daten, sollten die Emotionen in diesem EEG-Experiment möglichst eindeutig sein. Daher kamen in erster Linie nur primäre Emotionen in Frage, und von diesen diejenigen, die sich anhand von Filmausschnitten relativ gut induzieren lassen. Die Wahl fiel bekannterweise auf Angst, Ekel und Heiterkeit. Letztere besteht zwar eher aus einer Mischung von Freude und Humor, welche eigentlich differenziert gesehen werden (siehe Kap. 3.3, S. 19), man könnte sie aber mit dem übergeordneten Begriff „Positive Erregung“ bezeichnen. Zur Wahl der anderen beiden lässt sich vorerst sagen, dass Angst die stärkste, sowie experimentell meistverwendetste Emotion, und Ekel leicht generierbar und wahrscheinlich am authentischsten ist.

10.4.2 Kurzbeschreibung der verwendeten Filmsequenzen

Ausschnitte zur Emotion: Heiterkeit

Bei den Sequenzen zur Heiterkeit wurde Wert darauf gelegt, möglichst viele Facetten von Humor und guter Stimmung zu erfassen. Die Palette reicht vom amerikanischen Slapstick, über schwarzen englischen Humor bis hin zum typisch österreichischen „Schmäh“, wobei bei manchen Ausschnitten auch etwas Erotik eine Rolle spielt. Die positiven Emotionen werden, abgesehen natürlich von den visuellen Reizen, auf unterschiedliche Art und Weise ausgelöst, einmal über angenehme Musik, dann wiederum aufgrund des gesprochenen Inhaltes, oder durch Lachen im Film.

1. „Mister Bean“: Zwei Männer sitzen in einem Zugabteil. Einer der beiden liest ein Buch und belästigt mit lautem Lachen seinen Mitreisenden, der mit allen möglichen und unmöglichen Dingen versucht dem Gelächter zu entgehen.
2. „Das Leben des Brian“: Ein Gefangener wird von einem römischen Statthalter verhört. Aufgrund eines eigenartigen Sprachfehlers wird er aber von seinen Soldaten nicht ernst genommen, die in lautes Gelächter ausbrechen.
3. „Ganz oder gar nicht“: Eine Gruppe von Männern, tänzerisch ziemlich unbegabt, versucht professionell zu strippen.
4. „Grumpy old men“: Zwei, seit ewigen Zeiten zerstrittene, Nachbarn fügen sich gegenseitig kleine Bosheiten zu. Der eine manipuliert den Fernsehapparat des anderen, der wiederum ersteren mit dem Gartenschlauch nass spritzt.
5. „Rabbi Jakob“: Ein Mann wird in einem Auto entführt. An einer Autobahnmautstelle versucht er die Polizei durch äußerst bizarres Grimassenschneiden auf sich aufmerksam zu machen.
6. „Loriot“: Ein Mann versucht während eines Klavierkonzertes über die Stuhlreihen zu klettern. Dabei bleibt er mit seiner Hose hängen.
7. „Indien“: Zwei Männer tanzen im Sonnenaufgang zu indischer Musik.
8. „Ein echter Wiener geht nicht unter“: Eine Familie versucht gemeinsam das Wohnzimmer zu tapezieren. Dabei kommt es zu einigen Missgeschicken mit Tapete und Leim.
9. „Amore, Amore“: Eine Gruppe spanischer Tänzerinnen tanzt gemeinsam mit etwas skurrilen und tolpatschigen Männern.

10. „Die nackte Kanone 33 1/3“: Ein Mann ist Gast bei einem Dinner im Weißen Haus. Dabei passieren ihm etliche Missgeschicke, deren Höhepunkt ein „k.o.“ der First Lady darstellt.

Ausschnitte zur Emotion: Ekel

Ekel, bzw. eine gewisse Art von Abscheu zu erzeugen, gelingt, wenn einem Gerüche nicht zur Verfügung stehen, am besten mit Bildern oder Filmen von verdorbenem Essen oder Fäkalien.

1. „Trainspotting“: Ein Mann geht in einer völlig verdreckten öffentlichen Toilette aufs WC.
2. „Der Sinn des Lebens“: Ein stark übergewichtiger Mann isst, sehr unappetitlich, in einem Restaurant so lange bis er platzt.
3. „Die Blechtrommel“: Ein Fischer fängt mit einem verwesenen Rinderschädel im Meer Aale. Eine Frau beobachtet ihn dabei, und muss sich übergeben.
4. „Poltergeist“: In einer Küche verfault Fleisch am Tisch und ein Mann bemerkt, dass das Stück Huhn, das er gerade isst, voller Maden ist.
5. „Der Koch, der Dieb, seine Frau und ihr Liebhaber“: Eine Frau und ein Mann müssen vor einem Verbrecher flüchten. Ihre einzige Möglichkeit ist, sich in einem Lieferwagen voller verdorbener Lebensmittel zu verstecken.

Ausschnitte zur Emotion : Angst

Da Angst im Rahmen der Emotionsforschung die meistverwendetste und infolge auch bestevaluierteste Emotion darstellt, lag es nahe sie auch für dieses Experiment heranzuziehen. Doch im Gegensatz zu den beiden anderen Gefühlsqualitäten war es hier etwas schwieriger geeignetes Material zu finden. Horrorfilme oder Psychothriller gehören in der Zwischenzeit beinahe zum Alltagsleben. Aus diesem Grund fiel die Entscheidung auf Sequenzen, die in gewisser Weise „Urängste“ berühren, wie die Angst vor wilden Tieren, Schmerz oder Tod.

1. „Shining“: Ein wahnsinniger Mann verfolgt eine Frau mit einer Axt. Schließlich ist ihr jeder Fluchtweg abgeschnitten.

2. „Arachnophobia“: Eine Familie wird in ihrem Haus von einer Invasion giftiger Spinnen bedroht. Während alle anderen auf das Dach flüchten, befindet sich der Vater immer noch mit einem Heer von Spinnen im Badezimmer.
3. „Der weiße Hai I“: Ein Taucher wird in einem Haikäfig ins Wasser gelassen. Ein riesiger Hai greift an und zerstört den Käfig, der Taucher muss ungeschützt um sein Leben schwimmen.
4. „Scream I“: Ein junges Mädchen ist allein zu Hause. Nach einem mysteriösen Telefonanruf wird sie von einem Mann mit einer Halloweenmaske und einem Messer verfolgt bis er sie auf dem Balkon einholt.
5. „Der Marathonmann“: Ein Mann wird von der Mafia gefoltert. Dabei werden ihm ohne Betäubung die Zähne aufgebohrt.

Neutrale Filmausschnitte

Neutrale Filme, das heisst eigentlich, möglichst neutrale Filme, die beim Betrachter keine bemerkenswerte emotionale Erregung auslösen. Die Szenen selbst sollten keinen irgendwie gearteten emotionalen Stimulus enthalten. Ausgewählt wurden daher meist Dokumentationen. Der Begriff „neutral“ ist natürlich relativ. Auch wenn kein emotionaler Reiz im Film enthalten ist, so könnte die Versuchsperson doch verschiedenen Assoziationen, Erinnerungen an ähnliche Szenen haben und dadurch eine emotionale Reaktion entwickeln. Was möglicherweise ebenfalls Einfluss auf die Neutralität haben könnte, sind Langeweile und vielleicht sogar Ärger, die durch die Länge des Versuches und zusätzlich auch noch durch ereignislose, langweilige, – „neutrale“ - Filme provoziert werden könnten.

1. „Dublin“: Stadtansichten der irischen Hauptstadt, vor allem der dortigen Universität.
2. „Florenz“: Ansichten und Beschreibung einer florentinischen Renaissancekirche.
3. „Burgenland im Flug“: Landkarte des Burgenlandes und Bilder des kleinen Flugzeuges mit dem geflogen wurde.
4. „Die Bibliothek der Universität Heidelberg“: Zwei Studenten suchen Literatur im Bücherverzeichnis der Universität.
5. „Holzindustrie in Österreich“: Darstellung von Zahlen und Fakten der österreichischen Holzindustrie.

10.4.3 Technische Aufbereitung der Filme

Die Filmausschnitte wurden, nachdem sie auf VHS kopiert worden waren, in einem Schnittstudio gecuttet. Leider traten durch Kopieren und Filmschnitt Qualitätsverluste auf, die Bilder verloren an Schärfe oder Helligkeit, was trotz etlicher Korrekturversuche nicht ganz behoben werden konnte. Dieser Umstand könnte bei einigen Versuchspersonen zu geringen Irritationen geführt haben. Betroffen waren dabei meist Sequenzen der Kategorie Ekel.

Nach der Erstbearbeitung der Videos wurden die Filme digitalisiert, die letzten Schnittkorrekturen vorgenommen, auf das passende Format des Präsentationscomputers konvertiert und abgespeichert. Das jeweils erste Bild der Filmsequenzen wurde eingefroren und gescrambelt, d.h. die „pixels“ der einzelnen Bilder wurden durcheinander gebracht und gemischt. Übrig blieb ein unkenntliches Bild, aber mit gleicher Lichtintensität des folgenden Ausschnittes. Bedingt durch die unterschiedlichen Filme und deren verschiedenen Helligkeitswerte war es notwendig eine Art Helligkeitsadaptation für jede Sequenz vorzunehmen, um etwaigen Verfälschungen der EEG-Daten vorzubeugen. Außerdem sollten diese zwei Sekunden gescrambeltes Bild als baseline dienen.

Zwischen den Sequenzen, also im Interstimulusintervall, das von der Versuchsperson beliebig kurz oder lange gehalten werden konnte, erschien auf dem Bildschirm zuerst ein rotes und anschließend ein grünes Kreuz. Rotes Kreuz bedeutete, dass der Präsentationscomputer die nächste Sequenz noch nicht geladen hatte. Während dieser Zeit durften die Versuchspersonen nicht per Tastendruck die Wiedergabe des nächsten Filmes auslösen, erst mit Erscheinen des grünen Kreuzes konnte gestartet werden. Die Einrichtung der verschiedenfarbigen Kreuze war notwendig geworden, nachdem bei den ersten Versuchspersonen der Itemcomputer regelmäßig die Vorgabe unterbrach, weil zu schnell gedrückt worden war.

10.5 Fragebögen zu den Filmsequenzen

Um neben den objektiven EEG-Daten auch die subjektive emotionale Bewertung der Sequenzen zu erheben wurde ein Fragebogen vorgegeben (siehe Anhang IV, S 163). Die Versuchspersonen sollten dabei direkt nach jedem Filmausschnitt angeben, ob sie eine Emotion empfunden hatten, und wenn ja welche. Dabei standen ihnen vier vorgegebene Antwortmöglichkeiten zur Auswahl: Angst, Ekel, Heiterkeit oder keine Emotion bzw. neutral. Zusätzlich konnten die Probanden aber auch in einem eigens dafür vorgesehenen Feld eine andere Empfindung eintragen, sollte keine der vier Möglichkeiten passen. Es durfte allerdings nur eine Emotion entweder angekreuzt oder eingetragen werden,

Von Interesse war auch die Intensität des Gefühls. Erfasst wurde diese mittels visueller Analogskalen, wie sie zumeist in der Persönlichkeits- oder Befindlichkeitsdiagnostik verwendet werden. Das sind 100-mm-Skalen mit jeweils einem positiven und einem negativen Pol bezogen auf eine Eigenschaft. Die Versuchsperson macht ein Kreuz auf der Linie, je nachdem wohin sie eher tendiert. Zur Erfassung der Emotionsintensität adaptiert, bedeutet der linke Pol der Skala keine, bzw. sehr wenig Emotion während der rechte Pol für ein sehr intensives Gefühl steht. Die Versuchspersonen markieren also auf dieser Skala die subjektive Stärke des beim Betrachten der Sequenz entstandenen Gefühls, der jeweils gemessene Wert ist Indikator für die Intensität.

a) Emotion: Bitte kreuze an (nur eine Antwort!), ob Du eine Emotion, und wenn ja, welche Emotion Du bei diesem Ausschnitt gespürt hast.

b) Intensität: Wenn eine Emotion vorhanden war, wie intensiv hast Du sie empfunden?

fast gar nicht sehr stark

Die Daten aus diesen Fragebögen sollen nicht nur der Erfassung der subjektiven Empfindungen dienen, sondern auch eine Art a posteriori-Überprüfung der ausgewählten Sequenzen darstellen, zumal es zeitlich und vom Aufwand her nicht möglich war, eine Validierung der Filme vor Untersuchungsbeginn, wie sie streng wissenschaftlich eigentlich hätte stattfinden müssen, durchzuführen.

11 Technische Details des Experiments

11.1 Elektroden und Applikation

Zur Registrierung des EEG wurden Silber/Silberchloridelektroden verwendet, die nach dem internationalen standardisierten 10-20 System an der Schädeloberfläche angebracht wurden. Ausgehend vom gemessenen Längsabstand zwischen Nasion und Inion sowie der Distanz der beiden präaurikulären Punkte in Querrichtung werden die Elektrodenpositionen in 10- oder 20-Prozentabständen bestimmt. Um langwierige Vermessungsprozeduren zu vermeiden, wird auf dem Kopf des Probanden ein Netz aus Gummibändern gespannt, dessen Kreuzungspunkte die Elektrodenpositionen markieren. Befestigt ist das Netz mit Klettverschlüssen an einem flexibel verstellbaren Rahmen, der dem Kopfumfang der Versuchsperson angepaßt werden kann. Unter die Netzknoten werden dann Elektrodensockel geschoben, das Netz dient hier nicht nur als Positionsmarker, sondern gleichzeitig auch als Fixierhilfe bis die Plastiksockel mit dem Spezialkleber Kollodium fest am Kopf angebracht sind. Entfernen lässt sich das Kollodium nach erfolgtem Experiment mit Hilfe von Aceton, das den Kleber auflöst. Bis dahin aber sollten die Sockel zwecks artefaktfreier Aufnahme stabil an der Kopfoberfläche fixiert sein. Auf die Sockel werden die Elektroden geschoben. Zuvor muss aber die Kopfhaut darunter mit einer sterilen Nadel leicht geritzt werden. Dieses skin-scratching ist u.a. notwendig um den Übergangswiderstand an den Elektroden $\leq 3 \text{ k}\Omega$ zu halten, was vor Beginn des Versuches auch an jeder Elektrode überprüft wird. Vermieden bzw. in Grenzen gehalten werden dadurch Hautpotentiale, die zu Artefakten führen können. Die Aufzeichnung von DC-Potentialen verlangt insgesamt große Sorgfältigkeit, sind sie doch, bedingt durch ihre niedrigen Amplituden, anfällig für langsame Verschiebungen der baseline, sogenannte Driftartefakte, die oft schwer zu erkennen sind, das Ergebnis aber verfälschen. Zu dieser Sorgfältigkeit gehört es auch die Elektrodenpaste, welche in Sockeln und Elektroden eingefüllt wird, um Ionenwanderung zwischen Schädeloberfläche und Elektrode möglich zu machen, vor Gebrauch zu evakuieren. Das soll verhindern, dass kleine Luftbläschen in der Paste, wenn sie an die Oberfläche der Elektroden gelangen das Elektrodenpotential verändern und damit zu einer Drift führen können. Zu Artefakten kann es auch durch Polarisierungseffekte an der Elektrode kommen. Metallische Ionen wandern in die Elektrolytpaste und nichtmetallische Ionen lagern sich an der Elektrode an. Dadurch entsteht ein Ladungsgradient, der die Bewegung der Ionen erschwert. Dieser Effekt wird jedoch durch die Verwendung von nicht polarisierbaren Silber/Silberchloridelektroden verhindert. Insgesamt werden 29 dieser Elektroden geklebt, 22 am Schädel, 4 für das EOG, 2 Referenz- und eine Masseelektrode. Elektroden, bzw. eigentlich die Plastiksockel, die auf Hautstellen, wie im Gesicht, angebracht werden, sind durch Einwegkleberinge

fixiert. Zu diesen für die Aufzeichnung des EEG notwendigen Elektroden kommen noch 4 Elektrodensockel am Inion, Nasion und den beiden präaurikulären Punkten. Sie stellen notwendige Bezugspunkte für die Vermessung der individuellen Elektrodenkoordinaten am Skalp mittels PHD dar.

11.2 3D PHD - Photogrammetric Head Digitizer

Der 3D Photogrammetric Head Digitizer ist eine Vorrichtung mit der es möglich ist die Koordinaten der tatsächlichen Elektrodenpositionen zu messen. Somit kann man beim Erstellen der DC-Potentialmaps genauer interpolieren und auch dreidimensionale Darstellungen der Potentialverteilungen anhand der individuellen Kopfform generieren. Durch diese größere Genauigkeit ist auch eine bessere Vergleichbarkeit von EEG-Daten mit Daten anderer bildgebender Verfahren, wie z.B. fMRI, gegeben.

Zur Messung werden auf die bereits geklebten Elektrodensockel Leuchtdioden angebracht und die Versuchsperson unter eine nach oben und unten verschiebbare Kuppel gesetzt. In dieser Kuppel befinden sich insgesamt 12 kalibrierte Digitalkameras, die die mit Leuchtdioden markierten Elektrodenpositionen aus verschiedenen Perspektiven rund um den Schädel fotografieren. Der gesamte Vorgang dauert nur ein paar Millisekunden. Die aufgenommenen Diodenpositionen werden am Computerbildschirm abgebildet und müssen dort in einer bestimmten, festgelegten Reihenfolge markiert werden. Anschließend kann man die Elektrodenpositionen visuell sowie anhand eines mittleren Abweichungswertes der tatsächlichen Koordinaten zu den Positionen eines angenommenen idealen Kopfes kontrollieren. Ist dieser Wert >1 , muss eruiert werden, woher die Abweichung stammt und unter Umständen einzelne Elektroden neu geklebt werden.

11.3 Sterno-vertebrale Referenz

Zur Ableitung des EEGs werden keine Mastoide hinter den Ohren geklebt, sondern non-cephale Referenzelektroden verwendet. Diese sind fixiert am siebenten Halswirbel und der rechten sterno-clavikulären Beuge. Der Grund dafür liegt in einer möglichen Verfälschung der DC-Daten bei Verwendung von Mastoidreferenzen. In Experimenten mit emotionalen Stimuli kann es durch die Aktivität der Amygdala im Temporallappen zu einer Negativierung der Mastoidelektroden kommen, was zu einer scheinbaren Positivierung der gegen diese Referenz abgeleiteten Elektroden führt (Fretska, E., 1997). Sterno-vertebrale Referenzelektroden dagegen sind, bedingt durch ihre Lokalisation, von der Hirnaktivität völlig unabhängig, und sollten damit natürlich auch für alle anderen EEG-Ableitungen erste Wahl sein (was bereits 1951 von Stephenson und Gibbs verlangt wurde). In der Zwischenzeit gehört diese Art der Referenz zu den Standardverfahren im Brain Research Lab (BRL) der Universität Wien,

wo diese Diplomarbeit verfasst wurde. Die, aufgrund der Lage der Elektroden, sichtbare Herztätigkeit am Referenzkanal, die folglich auch auf allen anderen EEG-Kanälen erscheint, wird anhand eines 5 k Ω -Potentiometers, das zwischen die beiden miteinander verbundenen Referenzelektroden geschaltet ist, vor jeder EEG-Aufzeichnung so gut als möglich aus dem Signal entfernt. Mögliche letzte EKG-Reste verlieren sich spätestens beim Mitteln oder „averagen“.

11.4 EEG-Verstärker und Registrierung

Zur Verstärkung der EEG-Signale wird ein Differenzverstärker verwendet. Abgeleitet werden stets Potentialdifferenzen zwischen zwei Elektroden, mit jeweils einem Eingang am Verstärker, um Störsignale („Netzbrumm“) zu eliminieren¹. Die Gleichtaktunterdrückung (common mode rejection), die Unterdrückung gleichphasiger Störsignale, sollte bei einem Wert von 120 dB liegen. Ein weiteres Merkmal des EEG-Verstärkers ist ein sehr hoher Eingangswiderstand. Eine Impedanz von über 10 G Ω gewährleistet ein unverfälschtes Ausgangssignal am Verstärker, weil mögliche Potentialschwankungen an den Elektroden, durch Veränderung des Hautwiderstandes oder die unterschiedlichen Übergangswiderstände an den gegeneinander abgeleiteten Elektroden, vernachlässigbar werden. Von Notwendigkeit ist auch eine ausreichende Nulllinienstabilität des Verstärkers. Vor allem bei Langzeitableitungen sollte es zu keiner technischen Drift kommen. Im Fall einer DC-Potentialaufnahme ist die Wahl der Zeitkonstante ausschlaggebend. Die Zeitkonstante bestimmt im Allgemeinen bei EEG-Ableitungen wie lange die Periodendauer eines Wechselspannungssignals sein darf, um vom Verstärker noch unverfälscht übertragen zu werden. Mit ihr wird die untere Grenze der aufzeichenbaren Frequenz festgelegt. Die Zeitkonstante gibt an in welchem Zeitintervall die Amplitude eines am Verstärkereingang angelegten Rechtecksignals um 37% ($-1/e$; e = Eulersche Zahl) abfällt. Bei einem DC-Verstärker können die langsamen Gleichstrompotentialverschiebungen in positive wie negative Richtung durch eine sehr hohe, im theoretischen Idealfall gegen ∞ gehende ($\tau=\infty$), Zeitkonstante abgeleitet werden. Im konkreten Fall des DC-Verstärkers im BRL werden anhand der als Tiefpassfilter eingesetzten Zeitkonstante alle Frequenzen über 30 Hz herausgefiltert.

¹ Die elektromagnetische Energie aus den Netzleitungen ist an jeder Elektrode gleich, die bioelektrische Aktivität nicht, bildet man die Differenz, bleibt letztere übrig.

11.5 Signalverarbeitung

Mittels eines für jeden der 24 Kanäle des Verstärkers vorhandenen Analog-Digital-Konverters werden die aufgenommenen vorerst analogen EEG-Signale digitalisiert, d.h. sie werden in regelmäßigen Abständen abgetastet und als Zahl, binär codiert, gespeichert. Laut Abtasttheorem von Shannon muss die Abtast- oder Samplerate mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste registrierte Frequenz. Liegt sie darunter kann es zu einer Verfälschung des Ausgangssignals kommen, indem neue, langsame Frequenzkomponenten erzeugt würden. Dieser Effekt wird als „Aliasing“ bezeichnet. Die maximale im BRL verwendete Samplerate liegt bei 4000 Hz, womit das Shanonnsche Abtasttheorem bei weitem erfüllt wird. Zur Datenreduktion wird daher das sogenannte „downsampling“ eingesetzt. Je nach Bedarf wird die Abtastrate variiert und beträgt bei dieser Untersuchung 125 Hz, was bedeutet, dass das Signal alle 8 ms abgetastet wird. Ausnahme bilden dabei die EOG-Kanäle, die mit einer Samplerate von 64,5 Hz registriert werden.

11.6 Artefaktquellen und deren Behandlung

Derart komplexe und technisch aufwendige Untersuchungen bergen eine Reihe von Fehlerquellen in sich. Technische Artefakte des EEG-Signals sollten eigentlich durch genaues und sorgfältiges Arbeiten beim Anbringen der Elektroden sowie ein funktionierendes Verstärkersystem ausgeschlossen werden können (siehe vorangegangene Kapitel). Anders verhält es sich hingegen bei biologisch bedingten artifiziellen Veränderungen. Muskelartefakte durch Bewegungen oder Muskelanspannung können im Prinzip nur durch genaues Instruieren der Versuchsperson und deren Kooperation vermieden werden. Dass es im Fall meiner Untersuchung dennoch öfters zu „Ausrutschen“ kam, wurde schlicht und einfach dadurch verursacht, dass der oder die ProbandIn bei einer lustigen Sequenz lachen musste oder ein spannender Film auch bei der Gesichtsmuskulatur für Spannung sorgte.

Eine weitere und gleichzeitig die grösste Artefaktquelle stellen bei EEG-Experimenten Augenbewegungen und Lidschläge dar. Innerhalb des Auges gibt es Unterschiede in der Ionenkonzentration zwischen Cornea und dem Augenwasser. Der daraus resultierende Dipol folgt der Bewegung des Auges und beeinflusst Potentialveränderungen, die im EEG aufgenommen werden. Um diesen Effekt zu vermeiden werden das horizontale und vertikale EOG der Versuchsperson vor dem eigentlichen Experiment geeicht um dann rechnerisch mit einem Korrekturalgorithmus - $[r = \text{Cov}(\text{EEG}/\text{EOG})/\text{Var}(\text{EOG})]$ aus dem EEG-Signal entfernt werden zu können. In der Praxis bedeutet das für den Probanden, dass er jeweils ca. 20 sec lang vertikale wie horizontale Augenbewegungen durchführen muss, welche aufgezeichnet werden. Da die Bewegungen regelmäßig sein sollen, wird ein

Metronom als Taktgeber verwendet. Die vom Computer auf diese Weise erstellten VEOG- und HEOG-Koeffizienten sollten den Wert 0.10 nicht überschreiten, tun sie es dennoch, müssen für eine ausreichende rechnerische Korrektur die entsprechenden EOG-Elektroden neu geklebt und die Eichung wiederholt werden.

12 Datenaufbereitung

12.1 Artefaktkontrolle der EEG-Signale

12.1.1 Kontrolle der Rohdaten

Um qualitativ gute ERPs und SCPs zu erhalten, sollten die Rohdaten mit denen geaveragt wird möglichst „sauber“ sein. Aus diesem Grund werden alle trials auf Artefakte visuell überprüft. Bewegungs-, Augen- und Driftartefakte in den einzelnen buffern bzw. an einzelnen Elektroden müssen aus der Analyse ausgeschlossen werden. Gemäß dem Motto „doppelt hält besser“ erfolgte die Kontrolle der Rohdaten zwei Mal.

Längere trials werden üblicherweise in kürzere Abschnitte gesplittet, damit nicht ein ganzer EEG-Abschnitt verworfen werden muß, wenn sich beispielsweise in der Mitte ein nur kurz anhaltender Artefakt befindet. In diesem Fall genügt es den einzelnen Teilabschnitt, in dem der Fehler ist, herauszunehmen. Dieser wird dabei numerisch markiert und steht somit nicht mehr für das averaging zur Verfügung. Ebenfalls ausgeschlossen werden können einzelne Elektrodenkanäle, deren Signal artifiziell verändert ist, wobei bei insgesamt 22 EEG-Kanälen maximal 6 herausgenommen werden sollten. Je mehr EEG-Abschnitte oder EEG-Kanäle allerdings eliminiert werden müssen desto schlechter ist später beim sog. „averaging“ die „signal to noise ratio“ und damit die Qualität der gemittelten Potentialverläufe.

Im Zuge der Artefaktkontrolle bei meinem Experiment erwiesen sich vor allem die trials zur Bedingung Neutral als kritisch. Grund dafür war die geringere Anzahl der neutralen Filme pro Durchgang. Mussten einige artefaktbehaftete trials ausgeschlossen werden, war bereits die Anzahl der Durchgänge zum Averagen zu klein ($N < 15$). Abhängig ob Abfolge 1 oder 2 vorgegeben wurde, waren vereinzelt auch die Bedingungen Angst und Ekel davon betroffen.

Als häufigster Ausschlussgrund erwiesen sich extreme Augenbewegungen und Blinzelartefakte, die trotz EOG-Korrektur nicht verhindert werden konnten. Davon in Mitleidenschaft gezogen war vor allem die Zeit des Filmstarts. Zwischen dem gescrambelten Bild und dem Beginn der Filmsequenz wurde der Bildschirm für den Bruchteil einer Sekunde schwarz, was bei vielen Probanden für eine Lidschlussreaktion und eine kurzfristige Muskelanspannung sorgte. Artefakte, hervorgerufen durch Anspannung der Gesichtsmuskeln wirkten sich oft auf die Elektroden F4, F5, T3 und T4 aus. Eher selten kam es im Verlauf der Versuchsreihe zu Bewegungsartefakten. Manchmal begaben sich die

Versuchspersonen erst nach Tastendruck und Sequenzstart in ihre optimale Sitzposition und manchmal wurden die EEG-Signale durch lautes Lachen „erschüttert“. Dies spricht zwar für die eindeutig Heiterkeit auslösende Wirkung der gewählten Sequenzen, was der ganzen Sache aber wiederum zum Nachteil gereichte, weil ausgerechnet die „heitersten“ Aktivierungen dadurch nicht verwendet werden konnten.

12.1.2 Kontrolle der geaveragten Daten

Die Überprüfung der gemittelten Daten gleicht prinzipiell der Artefaktkontrolle der Rohdaten.

12.2 Averaging

Um ERPs und SCPs aus der Spontanaktivität des Gehirns zu extrahieren bedient man sich der Methode des Mittels oder „averaging“. Dabei werden rechnerisch über sämtliche, nach Artefaktkontrolle für gut befundenen, Durchgänge einer Reizbedingung Mittelwerte der EEG-Rohdaten gebildet. Je mehr trials pro Bedingung zum Mitteln vorhanden sind, desto besser wird das Verhältnis zwischen Signal und Rauschen („signal to noise ratio“). Das ereignisgebundene Signal nimmt beim Averagen proportional zum N der trials zu, während das Rauschen nur mit der Quadratwurzel von N steigt. Der resultierende gemittelte Potentialverlauf infolge einer bestimmten Stimulusvorgabe kann als Indikator der kognitiven Verarbeitung des gegebenen Reizes, bzw. des Aktivitätsniveaus neocortikaler Neuronenverbände im Verlauf des Informationsverarbeitungsprozesses gesehen werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zu jeder der Emotionsbedingungen Angst, Ekel, Heiterkeit und Neutral zwei verschiedene „averages“ generiert. Da aufgrund der niedrigen Anzahl von Filmen zu jeder (Nicht)- Emotion Einzelaverages über die Gesamtlänge der zugehörigen trials nicht möglich waren, wurde „überlappend“ geaveragt. Angewendet wurde das Sequential – Epochs – Averaging (Hofbauer, 1998), oder kurz SEA. Die trials wurden in 10 sec Abschnitte gesplittet und diese jeweils einander 5 sec überschneidend gemittelt. Resultat waren insgesamt 20 sec lange SCPs, beginnend mit Filmstart (nicht mit Tastendruck der Vp), zu den vier Bedingungen. Im konkreten Fall wurde davon ausgegangen, dass die neuronale Aktivität mit Fortdauer des Filmes in den einzelnen Elektrodenkanälen gleichförmig in negativer oder positiver Richtung ansteigt. Allerdings geht eine analoge zeitliche Interpretation der Daten dadurch verloren. Übrig bleibt eine Art „pseudo-zeitlicher“ Verlauf, der durch seinen komprimiert – gestaffelten Average zwar Rückschlüsse auf das zeitliche Verlaufsmuster zulässt, aber keine exakt definierten Zeit- bzw. Messpunkte enthält, die den Zeitpunkten aus dem vorgegebenen Reizmaterial entsprechen. Aus diesem Grund wurde eine zweite Form von Averages gebildet. Das waren 40 sec lange SCPs, die (baseline 3,5 - 4 sec nach Reizbeginn) über alle Kanäle und alle Versuchspersonen

(„overall“) pro Emotionsbedingung gemittelt wurden, um auf ein ausreichend großes N zu kommen. Diese Art der Datenaufbereitung lässt eine weitere Verwendung zur statistischen Analyse nicht zu. Die Generierung der overall-DC-Verläufe dient schlicht und einfach im Rahmen der deskriptiven Analyse einer besseren Veranschaulichung des zeitlichen Verlaufes und als Interpretationshilfe. In die statistische Analyse wurden nur die Daten ersterer, 20 sec- DC-Potentiale, einbezogen.

12.3 Bildliche Darstellung und deskriptive Analyse der Potentialverteilungen

12.3.1 sLORETA

Die „Standardized Low Resolution Brain Tomography“ ist ein Brain Imaging Verfahren um mit „oberflächlichen“ - zweidimensionalen EEG-Daten die Lage der tieferliegenden neuronalen Generatoren zu bestimmen und dreidimensional darzustellen. sLORETA nimmt sich dabei des sogenannten inversen Problems bei Potentialverteilungsdarstellungen an. Durch die verschiedenen anatomischen Gegebenheiten von Gehirn, Schädelknochen und – oberfläche und der sich daraus ergebenden unterschiedlichen Leitfähigkeit der Ionen, wird der Stromfluss, je nach Widerstand, verschieden stark abgelenkt. Der Volumesleitereffekt bewirkt, dass man von einem an einer Elektrode registrierten Potentialmaximum nicht direkt auf den neuronalen Generator schließen kann. Bezogen auf die Darstellung der Potentialverteilung an der Oberfläche bedeutet dies, dass theoretisch unendlich viele Quellenkonfigurationen gleichermaßen eine gemessene Oberflächenpotentialverteilung ergeben können. Um dieses inverse Problem bei der Rückrechnung auf neuronale Generatoren zu lösen, wird beim sLORETA – Verfahren miteinbezogen, dass elektrische neuronale Quellen bestimmten elektrophysiologischen wie neuroanatomischen Gegebenheiten unterliegen. Ausgegangen wird von einem 3-Schalen-Modell des Kopfes, in dem der Einfluss von Gehirn, Hirnhäuten und Schädelknochen, als homogen leitende Medien, auf die Ausbreitung der Ströme angenommen wird. Zudem wird berücksichtigt, dass Oberflächenpotentiale durch synchronisierte EPSPs von Neuronengruppen entstehen, woraus sich schließen lässt, dass benachbarte Punkte ähnlich aktiviert sein müssen („smoothness constraint“).

Das in dieser Arbeit verwendete sLORETA ist eine Weiterentwicklung des LORETA – Verfahrens von R. D. Pascual-Marqui (1994). Dabei werden die mit sLORETA darstellbaren Bereiche des Gehirns (Cortex, Hippocampus, Gyrus Cinguli) in insgesamt 6239 Voxel¹ eingeteilt. Mittels eines Projektionsalgorithmus erstellt sLORETA ein physikalisch – mathematisches Modell des Kopfes, das die

¹ Voxel sind dreidimensionale Volumenelemente (5 x 5 x 5 mm³) mit drei mögliche Dipolrichtungen.

elektrophysiologischen und anatomischen Gegebenheiten sowie die mögliche Beteiligung eines jeden Voxels in drei Ausrichtungen auf mögliche Potentialverteilungen an der Kopfoberfläche beinhaltet¹. Durch die Anwendung des sLORETA- Algorithmus wird bei der Lösung des inversen Problems die Residualvarianz zwischen den modellierten und den aufgezeichneten elektrischen Potentialen minimiert. Dargestellt werden die Potentialschätzungen auf einem triangulierten standardisierten MNI – Gehirn², das aus insgesamt 152 Gehirnen gemittelt wurde. Einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse hat die Anzahl der geklebten Elektroden. Je weniger Elektroden geklebt werden, desto mehr Interpolationen müssen durchgeführt werden, was bei sLORETA in Form des Regularisierungsparameters eingeht. Im konkreten Fall dieses Experiments wurden nur 22 Elektroden³ verwendet, was zu Ungenauigkeiten bei den Schätzungen führen könnte. Unter idealen Bedingungen weist sLORETA einen Lokalisationsfehler von 0 auf (Pascual-Marqui, 2002), hingegen kann es aber v.a. bei tiefer liegenden Generatoren zu einer Unterschätzung der Amplitudenstärke kommen. Ebenso weist sLORETA (Michel, 2004) Schwächen bei der Darstellung gleichzeitig aktiver Generatoren auf – sie werden nur dann getrennt abgebildet, wenn sie weit genug auseinander liegen und eine ähnliche Aktivität zeigen.

Im Rahmen dieses Experiments sollten die sLORETA-Berechnungen und Darstellungen die Orte der neuronalen Quellen der einzelnen Emotionen identifizieren - aufgrund des SEA-Mittelungsverfahrens allerdings ohne analoge zeitliche Auflösung. Ausserdem waren Hemisphärenunterschiede und Einzelvergleiche zwischen den Emotionen, sprich, die Regionen in denen sich mit grosser Wahrscheinlichkeit der „emotionale“ Unterschied zeigt, von Interesse.

12.3.2 SCP- und CSD- maps

Die Verteilung der ermittelten Langsamen Potentiale auf der Schädeloberfläche wird anhand von EEG-maps dargestellt. Dabei werden im BRL zwei unterschiedliche Visualisierungsformen verwendet. SCP-Topographien beruhen auf den untransformierten Amplitudenwerten (μV) der registrierten DC-Potentiale, während CSD- (current source density) Topographien durch spezielle Berechnungsmethoden und Transformation der Potentialgradienten eine genauere Darstellung des räumlich-zeitlichen Aktivierungsmusters ermöglichen.

¹ Was einer Lösung des „Vorwärtsproblem“ entspricht.

² Mit den Koordinaten des Talairach Atlas nach dem Brain Imaging Center des Montreal Neurological Institute

³ Erst ab einer Anzahl von 64 Elektroden kommt es bei den notwendigen Interpolationen zu keiner wesentlichen Steigerung der Schätzgenauigkeit mehr.

Um eine vollständige Verteilung der Potentiale über die gesamte Schädeloberfläche zu erhalten wird ein Interpolationsalgorithmus angewandt, mit dem die neuronale Aktivität auch in den Bereichen zwischen den Elektroden geschätzt wird. Als Basis für die Interpolationen wird ein realistisches Kopfmodell verwendet in das die, mittels 3D-PHD vermessenen, individuellen Elektrodenkoordinaten eingehen. Die Genauigkeit der Potentialverteilungsschätzungen steigt mit der Anzahl der registrierten Kanäle. Idealerweise sollten die Elektroden in 2 cm- Abständen die Schädeloberfläche bedecken (=128 Elektroden), um Interpolations-Schätzungsfehler ausschließen zu können. Die Realisierung derartiger Perfektion ist letztlich aber abhängig von den zur Verfügung stehenden technischen Systemen.

Bei der Berechnung der *current source density*, der CSD- maps, wird der Volumesleitereffekt berücksichtigt. In diesem Verfahren versucht man das inverse Problem zu relativieren, indem nur der radiale Stromfluss unter einer Elektrode in die Berechnung eingeht und tangentiale Einstreuungen eliminiert werden. Ein genaueres Rückschließen auf die Verteilung von Quellen und Senken unter den Elektroden wird so ermöglicht. Mathematisch gesehen werden die vorher approximativ durch Interpolation bestimmten Potentialgradienten mittels Laplac'scher Transformation umgewandelt. Neben der präziseren Darstellung von Potentialverteilungen hat die CSD- Transformation außerdem den Vorteil von der gewählten Referenz unabhängig zu sein.

Diese Form der bildlichen Auflösung wurde verwendet um die einzigen zeitlich interpretierbaren (wenn auch nur in deskriptiver Form) DC-Potentialverläufe zu generieren. Diese maps wurden über alle Versuchspersonen gemittelt, und nicht wie sonst üblich und notwendig für jede Vp einzeln. Es gibt also eigentlich nur „grand means“ für die verschiedenen Bedingungen. Daher können diese Potentialverläufe nicht in Zusammenhang mit den statistisch errechneten Daten gebracht werden, die ja aus anderen Averages resultieren.

13 Statistische Datenanalyse

13.1 Varianzanalyse mit Messwiederholungen

Im Hinblick auf die Überprüfung der Hypothesen interessieren in erster Linie Unterschiede in der kortikalen Aktivität zwischen den drei Emotionsbedingungen. Die gemessene elektrokortikale Aktivität an den 22 Elektroden bildet die abhängige Variable, die im Fall dieses Experiments durch drei unabhängige Variablen oder Faktoren beeinflusst werden kann: durch den *Condition-Faktor* (3 Versuchsbedingungen: Angst, Ekel, Heiterkeit), den *Group-Faktor* (männlich oder weiblich) und den *Location-Faktor* (22 Elektrodenpositionen). Als Analysemethode wird eine Varianzanalyse angewendet, genauer eine dreifaktorielle univariate VA, weil es sich um die Auswirkungen dreier Faktoren auf eine abhängige Variable handelt. Mit der VA lassen sich Mittelwertsvergleiche, in diesem Fall die Amplitudenmittelwerte der elektrokortikalen Aktivität zu bestimmten Zeitpunkten in den verschiedenen Bedingungen und Gruppen, durchführen.

Bei einer VA von Multi- Kanal - EEG- Daten handelt es sich zwangsweise immer um Messwiederholungen. Das heisst, es werden mehrere Messungen jeweils an derselben Versuchsperson vorgenommen, die dann allerdings nicht mehr unabhängig voneinander sind. Auf die Problematik, die dadurch entsteht, schließlich wird hier eine der Voraussetzungen für eine VA, nämlich die Unabhängigkeit der Faktorstufen, verletzt, wird im nächsten Kapitel noch eingegangen. Die Messwiederholungen ergeben sich nun einerseits aus dem Condition-Faktor, der im Rahmen dieser Untersuchung dreifach gestuft ist, und andererseits aus dem Location-Faktor, der aufgrund der Elektrodenpositionierung 22 Stufen aufweist. Während es sich beim Condition-Faktor um zeitlich versetzte Messungen handelt, sind die Messwiederholungen des Location-Factors zwar auf gleichzeitige aber örtlich verschiedene Messungen zurückzuführen. Insgesamt wurde also zur Analyse der Amplitudenunterschiede eine *dreifaktorielle univariate VA mit Messwiederholungen mit einem Gruppierungsfaktor (group, $k = 2$) und zwei Messwiederholungsfaktoren (condition, $k = 3$; location, $k = 22$)* durchgeführt. Damit lassen sich Haupteffekte sowie deren Interaktionen oder Wechselwirkungen auf die abhängige Variable klären.

In Bezug auf die Berechnung der Wechselwirkungen mit dem Location-Faktor, was eine Aussage über topographische Unterschiede erlauben soll, ist erwähnenswert, dass derartige Interaktionen auch signifikant werden können, wenn sich die Stärke aber nicht der Ort der Stromquelle oder des Dipols ändert. Das kann Fehlinterpretationen der topographischen Unterschiede zur Folge haben. Zur Vermeidung dieses Fehlers schlagen McCarthy und Wood (1985) daher vor, die Amplitudendaten

mittels z-Transformation zu standardisieren, was mit den Daten dieses Experiments auch durchgeführt wurde.

Mit einem signifikanten Ergebnis einer VA lässt sich zwar nun zeigen, dass es generell Amplitudenunterschiede gibt, nicht jedoch zwischen welchen Stichproben der Unterschied besteht. Daher werden im Anschluss an die VA eine Reihe von theoriegeleiteten Einzelvergleichen (*Lineare Kontraste*) durchgeführt. Theoriegeleitet bedeutet, dass bereits im Vorfeld eines solchen Einzelvergleiches, a priori Hypothesen bestehen sollten. Der Grund dafür liegt in einer möglichen Kumulierung der α -Fehler, wenn viele Lineare Kontraste durchgeführt werden. Empfehlenswert ist es daher, wenn a posteriori gerechnet wird, eine Bonferoni- Korrektur zur Herabsetzung des Signifikanzniveaus der Einzeltests durchzuführen.

13.1.1 Voraussetzungen der Varianzanalyse mit Messwiederholungen (MWVA)

Um überhaupt eine VA berechnen zu können müssen einige Grundbedingungen erfüllt werden, was sich aber bei der Auswertung von EEG- Daten aus diversen Gründen, wie z. B. wegen der meist kleinen Stichprobengröße, oft als etwas problematisch erweist.

Am einfachsten hat man es noch mit dem erforderlichen Intervallskalenniveau. Dieses ist aufgrund der physikalischen Herkunft der EEG-Daten immer gegeben. Etwas schwieriger ist es da schon mit den anderen Grundvoraussetzungen: der Normalverteilungsbedingung, der Varianzenhomogenität und der Zirkularitätsbedingung, auf die noch genauer eingegangen wird.

Normalverteilt sollten beim Durchführen einer VA alle Fehlerkomponenten in der Population sein. Die VA erweist sich glücklicherweise aber relativ robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung (Bortz, 1993; nach Lamm, 1997), und eine Stichprobengröße ab $n \geq 30$ lässt eine Annahme der Normalverteilung auch ohne statistische Prüfung zu. Daher wurde bei dieser Arbeit die rechnerische Testung auf Normalverteilung unterlassen, und nur eine graphische Überprüfung mittels Histogrammen und Normalverteilungskurve durchgeführt.

Die Homogenität der Varianzen, die nächste Grundbedingung für die VA, bedeutet, dass sich die Varianzen der einzelnen Stichproben nicht signifikant voneinander unterscheiden sollten. Zur Überprüfung der Varianzenhomogenität wurde der Bartlett- Test eingesetzt. Wie schon bei der Normalverteilungsvoraussetzung reagiert auch hier die VA robust gegenüber Verletzungen und lässt durchaus richtige Ergebnisse zu, selbst wenn der Bartlett- Test ein signifikantes Ergebnis aufweisen sollte.

Weitaus komplexer erweist sich die letzte noch zu behandelnde Voraussetzung: die Zirkularitäts- oder Sphäritätsbedingung. Wie bereits erwähnt führt ein Messwiederholungsdesign dazu, dass die Faktorstufen Condition und Location nicht mehr als unabhängig zu betrachten sind. Hier zeigt sich nun die VA, was die Verletzung dieser Voraussetzung betrifft, nicht so tolerant wie bei den anderen beiden Grundbedingungen. Eine Abhängigkeit der Faktorstufen kann zu progressiven Entscheidungen führen, d. h. die H1 würde öfter angenommen, als es laut α - Niveau zu erwarten wäre, außer es wird eine zusätzliche Bedingung für VA mit Messwiederholungen erfüllt: Wenn die Varianzen unter den einzelnen Faktorstufen und die Korrelationen zwischen den Faktorstufen homogen sind, kann die Sphäritätsbedingung als gegeben angenommen werden. Wegen des Location- Faktors wird aber bei Multikanal- EEG- Daten auch diese Bedingung immer verletzt. Der Grund dafür liegt in der örtlichen Beziehung der Elektrodenpositionen. Amplitudenwerte die an benachbarten Elektroden gemessen werden, korrelieren stärker miteinander als die Messwerte von weiter auseinanderliegenden Elektroden. Um dennoch eine F- Verteilung im Rahmen der VA verwenden zu können, werden bei kleinen Stichproben Korrekturverfahren angewendet, in denen die kritischen F- Werte der Signifikanztests von Haupt- und Nebeneffekten angehoben werden. Damit kann progressiven Entscheidungen vorgebeugt werden. Konkret wird für alle MW- Faktoren ein Sphäritätskoeffizient ϵ ($\epsilon \leq 1$) berechnet. Dieser gilt als Indikator für die Sphäritätsverletzung, wenn sein Wert unter 1 liegt. Als Korrekturverfahren wurde in dieser Untersuchung die Methode nach Greenhouse und Geisser verwendet.

13.2 Diskriminanzanalyse

Um zu überprüfen, ob die gemessenen DC-Aktivierungen an der Kopfoberfläche ein für jede Emotion charakteristisches und unterscheidbares Muster darstellen, sollten die Daten mit einer hierarchischen Diskriminanzanalyse verrechnet werden. Die Diskriminanzanalyse (DA) könnte man als umgekehrte Varianzanalyse beschreiben. Mit ihrer Hilfe werden über bekannte Unterscheidungsmerkmale Gruppenzusammengehörigkeiten bzw. Klassifikationen ermittelt. Die DA sucht nach Merkmalen, die möglichst exakt die Gruppenzugehörigkeit vorhersagen können. Im Falle dieser Arbeit ging es darum, ausgehend von der gemessenen Oberflächenaktivierung die jeweilige Emotionsbedingung zu bestimmen. Es sollten also Prädiktoren ermittelt werden, die möglichst gut diskriminieren und infolge eine Emotionsklassifikation möglich machen. Um fehlerhafte Ergebnisse¹ zu vermeiden, sollte die DA nur durchgeführt werden, wenn die vorangegangenen Varianzanalysen der EEG-Daten signifikante Unterschiede zwischen den Emotionsbedingung zeigen.

¹ Bei einer großen Anzahl von Prädiktoren steigt die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest ein Prädiktor eine Gruppenzuordnung zulässt, was letztlich aber nur zu einer unzulässigen Klassifikation führt.

14 Ergebnisse

Im Mittelpunkt des Interesses steht die Überprüfung der Annahme, dass sich die drei verschiedenen Emotionsbedingungen in einer unterschiedlichen cortikalen Aktivität zeigen, bzw. ob sich generell die cortikale Aktivität während des Betrachtens emotionaler Filme von der beim Ansehen neutraler Sequenzen unterscheidet. Auch mögliche Gruppenunterschiede (männl. x weibl.) waren Untersuchungsgegenstand. Eine Bestätigung dieser Hypothesen wären signifikante Ergebnisse der MWVA $\text{cond} \times \text{loc} \times \text{group}$ bzw. ohne Gruppenunterschied, eine signifikante zweifache Wechselwirkung von $\text{cond} \times \text{loc}$.

In die Verrechnung gingen insgesamt 11 Messpunkte (MP) ein, wobei der erste einen Mittelwert der Sekunden 5-7 nach Beginn des Average repräsentiert, MP2: 10-11 sec, MP3: 11-12 sec usw., bis zum MP11 (19-20 sec) sowie der MP12, der einen „overall“- Mittelwert von 10-20 sec darstellt. Im Mittelpunkt des Interesses steht die Verteilung der langsamen DC – Potentiale, die während einer langandauernden emotionalen Stimulierung auftritt. Vor diesem Hintergrund war auch die Durchführung eines gestaffelten Averages (SEA, siehe Kap. , S.) vertretbar. Die Messpunkte entsprechen also keinen analogen Zeitpunkten, sondern stellen eine kontinuierliche Abdeckung der späten DC-topographischen Verteilung dar, eine Art pseudo-zeitlichen Verlauf. Im Prinzip wäre es daher angebrachter eher von Orientierungspunkten als von Messpunkten zu sprechen.

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich in 2 Teile – den inferenzstatistischen Teil und die deskriptive Analyse. In beiden Teilen wird auf die anfangs formulierten Hypothesen mit den jeweiligen Analysemethoden (MWVA, sLORETA, etc.) eingegangen.

14. 1 Inferenzstatistik

14.1.1 Überprüfung der H1

„Das Betrachten von Filmen verschiedener emotionaler Qualitäten führt zu differenzierten langsamen Potentialverteilungen (Amplitudenwerte, DC-Topographie), wobei es bei Emotionen negativer Valenz zu einer stärkeren Oberflächenpositivierung kommt.“

Wie zu Beginn des experimentellen Teils (siehe „Hypothesen“, Kap. 9, S. 66) bereits beschrieben, waren primär die Unterschiede zwischen den emotionalen Bedingungen von Interesse. Daher kamen bei der MWVA zur Überprüfung der H1 Subtraktionsdaten zum Einsatz. Von jeder Vp wurde die Aktivität während des Betrachtens von neutralen Filmsequenzen von der Aktivität beim Betrachten von Sequenzen mit emotionalem Inhalt abgezogen. Dahinter stand die Idee, die „emotionale cortikale Positivierung“ durch eine Elimination der überlagernden kognitiven corticalen Aktivität, hervorgerufen durch das Verarbeiten multimodaler Stimuli beim passiven Betrachten der Filme, an die „Oberfläche“ zu holen. Die resultierenden, bereinigten, Oberflächenpotentiale repräsentieren also die durch emotionale Prozesse hervorgerufene Aktivität.

Bei den mit den Subtraktionsdaten durchgeführten MWVA zeigte sich zu keinem der 12 Zeitpunkte eine signifikante dreifache Wechselwirkung (siehe Anhang, S.), sehr wohl aber konnten Signifikanzen zwischen den Faktoren condition und location festgestellt werden.

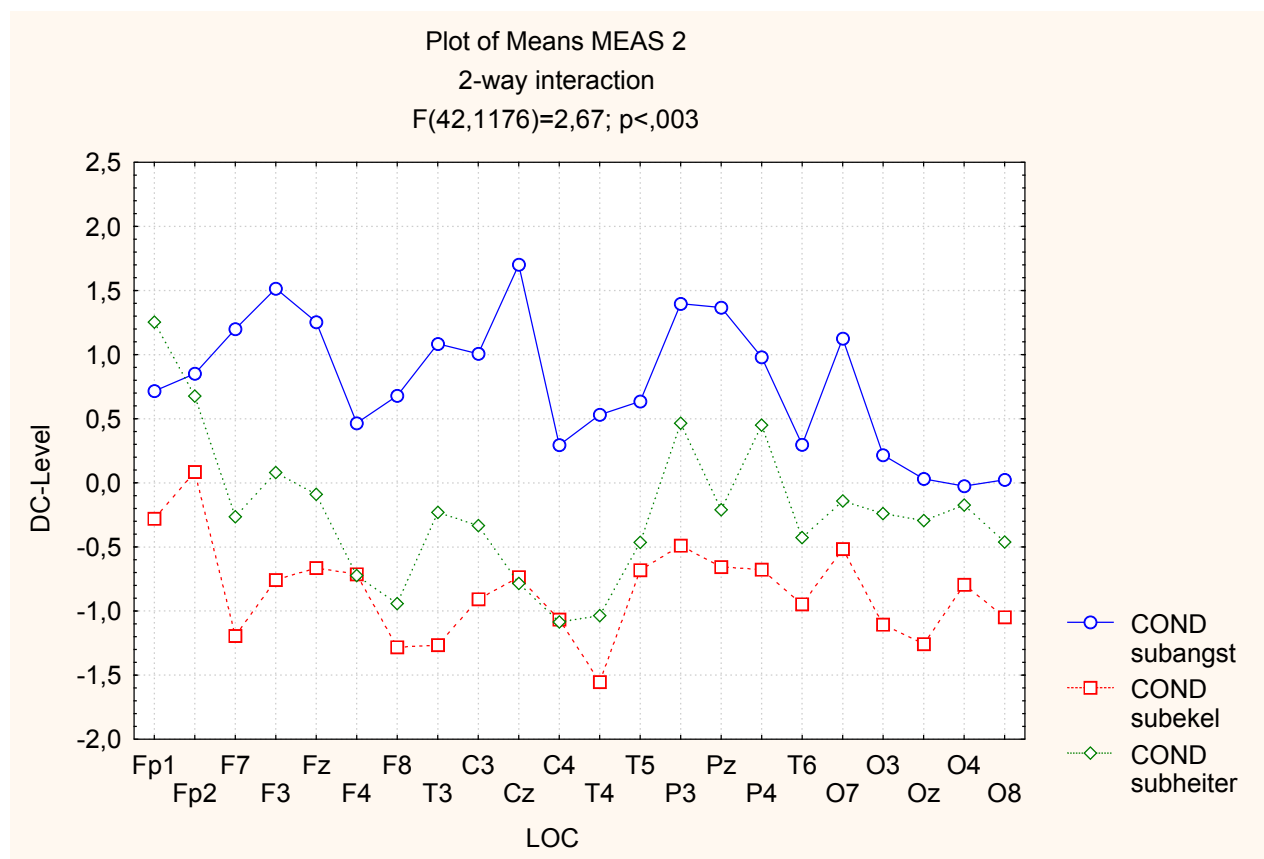
MWVA - Subtraktionsdaten (Korrektur der p- Werte nach Greenhouse und Geisser)						
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
COND *						
LOC						
ADC1	90,699	9,448	9,599	2,768	0,004	0,116
ADC2	228,076	10,113	22,554	2,793	0,003	0,117
ADC3	258,281	9,051	28,537	2,586	0,008	0,110
ADC4	240,988	9,251	26,050	1,878	0,055	0,082
ADC5	255,986	9,096	28,144	1,911	0,052	0,083
ADC6	274,758	8,879	30,945	1,750	0,082	0,077
ADC7	332,624	8,742	38,049	1,924	0,053	0,084
ADC8	360,722	8,983	40,155	1,883	0,057	0,082
ADC9	304,703	8,748	34,831	1,366	0,208	0,061
ADC10	355,304	8,354	42,532	1,455	0,174	0,065
ADC11	427,863	8,815	48,537	1,554	0,134	0,069
ADC12	265,970	9,157	29,046	1,738	0,082	0,076

Tab.1

Ausgehend von diesen Daten lässt sich sagen, dass sich die Amplitudenwerte der gemessenen langsamen Potentiale abhängig von der Emotionsbedingung unterscheiden. Auffallend ist, dass die Unterschiede mit Fortdauer der Sequenz immer geringer werden und schließlich ganz verschwinden. Während die Messpunkte 1,2 und 3 signifikant sind, lässt sich bei den MPn 5,7 und 8 nur noch von einem Trend sprechen.

Anhand der Interaktionsdiagramme (siehe Anhang) ergab sich, dass vor allem die Potentialverteilung in der Bedingung Angst ein anderes Bild als Ekel oder Heiterkeit bietet. Als Beispiel sei hier der Messpunkt 2 abgebildet, in dem der Unterschied zwischen Angst und den anderen beiden Emotionen gut erkennbar wird.

Abb. 1:



Bei der Elektrode FP1 lässt sich zudem eine Wechselwirkung zwischen den Bedingungen Heiterkeit und Angst erkennen – während die übrigen Amplitudenwerte durchgehend bei Angst relativ positiver sind, ist es im linken Präfrontalbereich umgekehrt.

Die im Anschluss gerechneten Linearen Kontraste (LK) bestätigten die bereits durch die Interaktionsdiagramme angenommene Vermutung, dass es die Bedingung Angst war, die sich bezüglich der Amplitudenstärke von den beiden anderen Emotionen abhob.

Tab. 2

LK (Planned Comparisons: alldata.av3)

		Sum of		Mean		
		Squares	df	Square	F	p-level
ADC1	Effect	112,166	1,000	112,166	3,462	0,074
	Error	874,795	27,000	32,400		
ADC2	Effect	746,550	1,000	746,550	11,676	0,002
	Error	1726,408	27,000	63,941		
ADC3	Effect	760,695	1,000	760,695	9,286	0,005
	Error	2211,687	27,000	81,914		

Die Elektroden an denen dieser Unterschied am deutlichsten erkennbar wurde, waren die T4 und die CZ.

Tab. 3

LK Angst ↔ Ekel ↔ Heiterkeit

T4:

MP2:

	Summe d.	FG	Mittel	F	p
Variable	Quadrate		Quadr		
M1	64,184	1	64,184	12,538	0,002
Fehler	107,501	21	5,119		

MP3:

	Summe d.	FG	Mittel	F	p
Variable	Quadrate		Quadr		
M1	73,791	1	73,791	11,698	0,003
Fehler	132,466	21	6,308		

CZ:

MP2

	Summe d.	FG	Mittel	F	p
Variable	Quadrate		Quadr		
M1	138,540	1	138,540	30,973	0,00002
Fehler	93,931	21	4,473		

MP3

	Summe d.	FG	Mittel	F	p
Variable	Quadrate		Quadr		
M1	175,167	1	175,167	33,575	0,00001
Fehler	109,561	21	5,217		

Die anhand dieser Ergebnisse getroffenen Aussage, dass sich die Bedingung Angst beim Betrachten emotionsauslösender Filmsequenzen von den Bedingungen Ekel und Heiterkeit zu den ersten drei Messpunkten signifikant am Vertex und im rechten Temporalbereich unterscheidet, bezieht sich rein auf die Amplitudenmittelwerte. Um auch mögliche topographische Unterschiede interpretieren zu können wurden die Subtraktionsdaten standardisiert, bzw. z- transformiert. Signifikante Ergebnisse (cond x loc) beim Verrechnen dieser Daten bedeuten, dass sich die drei Emotionsbedingungen nicht nur bezüglich der Höhe der Amplitudenmittelwerte unterscheiden, sondern dass tatsächlich auch unterschiedliche kortikale Areale aktiviert sind.

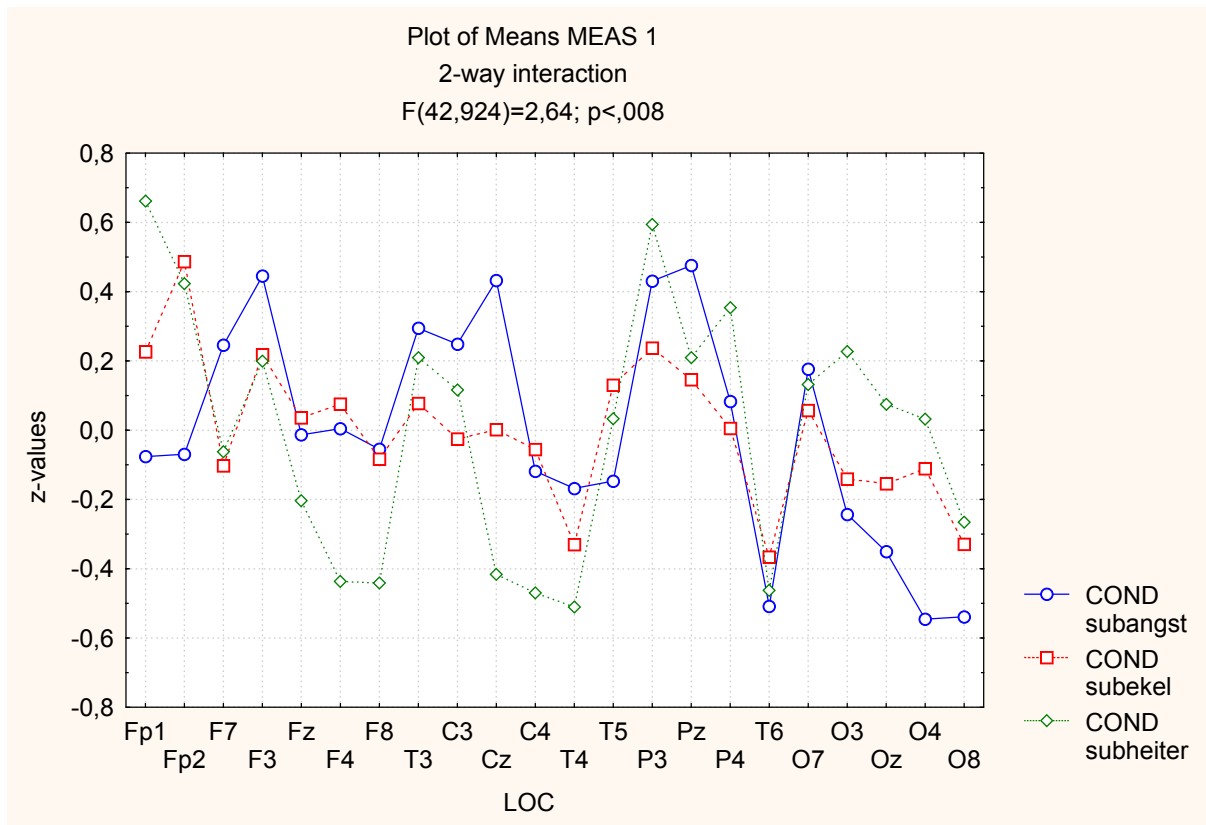
Die statistische Analyse der standardisierten Daten ergab einen signifikanten Unterschied zwischen cond x loc zu den ersten drei Messpunkten, von MP5 bis MP8 und sogar dem overall-MP12.

MWVA - Subtraktionsdaten z- Werte (Korrektur nach Greenhouse und Geisser)						
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
COND * LOC						
ADC1	49,029	8,552	5,733	2,647	0,008	0,112
ADC2	53,988	10,335	5,224	3,041	0,001	0,126
ADC3	44,435	9,892	4,492	2,663	0,005	0,113
ADC4	38,526	10,023	3,844	1,821	0,058	0,080
ADC5	41,658	9,918	4,200	2,111	0,025	0,091
ADC6	36,276	10,699	3,391	1,906	0,041	0,083
ADC7	39,545	10,499	3,767	1,956	0,036	0,085
ADC8	36,927	11,605	3,182	1,947	0,032	0,085
ADC9	31,951	10,488	3,047	1,487	0,141	0,066
ADC10	33,723	10,220	3,300	1,621	0,100	0,072
ADC11	35,969	10,492	3,428	1,701	0,078	0,075
ADC12	37,946	10,655	3,561	1,887	0,044	0,082

Tab. 4

Unterschiede zwischen den Emotionsbedingungen treten hier bezüglich der topographischen Verteilung der langsamen Potentiale noch deutlicher zutage.

Abb.2:

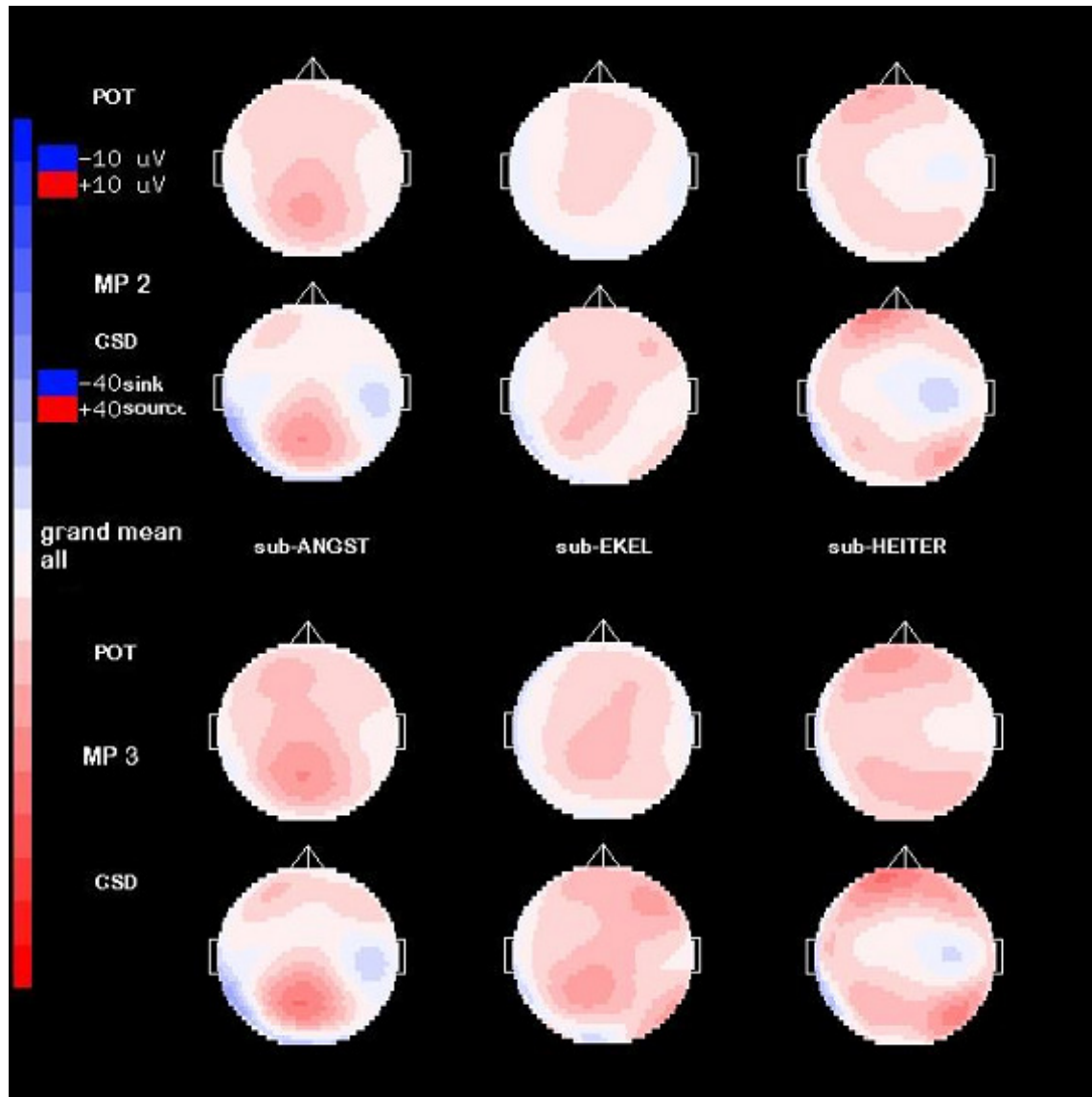


Eine Wechselwirkung lässt sich zwischen Angst und den anderen beiden Bedingungen, Heiterkeit und Ekel, sowohl bei den Elektroden präfrontal wie okzipital erkennen.

Die H1 konnte mit den Subtraktionsdaten dieser Untersuchung bestätigt werden. Verschiedene Emotionsqualitäten führen zu differenzierten langsamen Oberflächenpotentialen sowohl in Bezug auf ihre Stärke als auch ihrer topographischen Verteilung, wobei bei der Bedingung Angst die stärksten positiven DC-Potentiale auftreten. Die SCP-Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigen sich lokalisiert am deutlichsten rechts temporal (T4) und zentral (CZ).

Abb. 3 SCP- u. CSD- Maps

Signifikante MP 2 (10,5 – 11sec) und 3 (11,5 – 12sec)

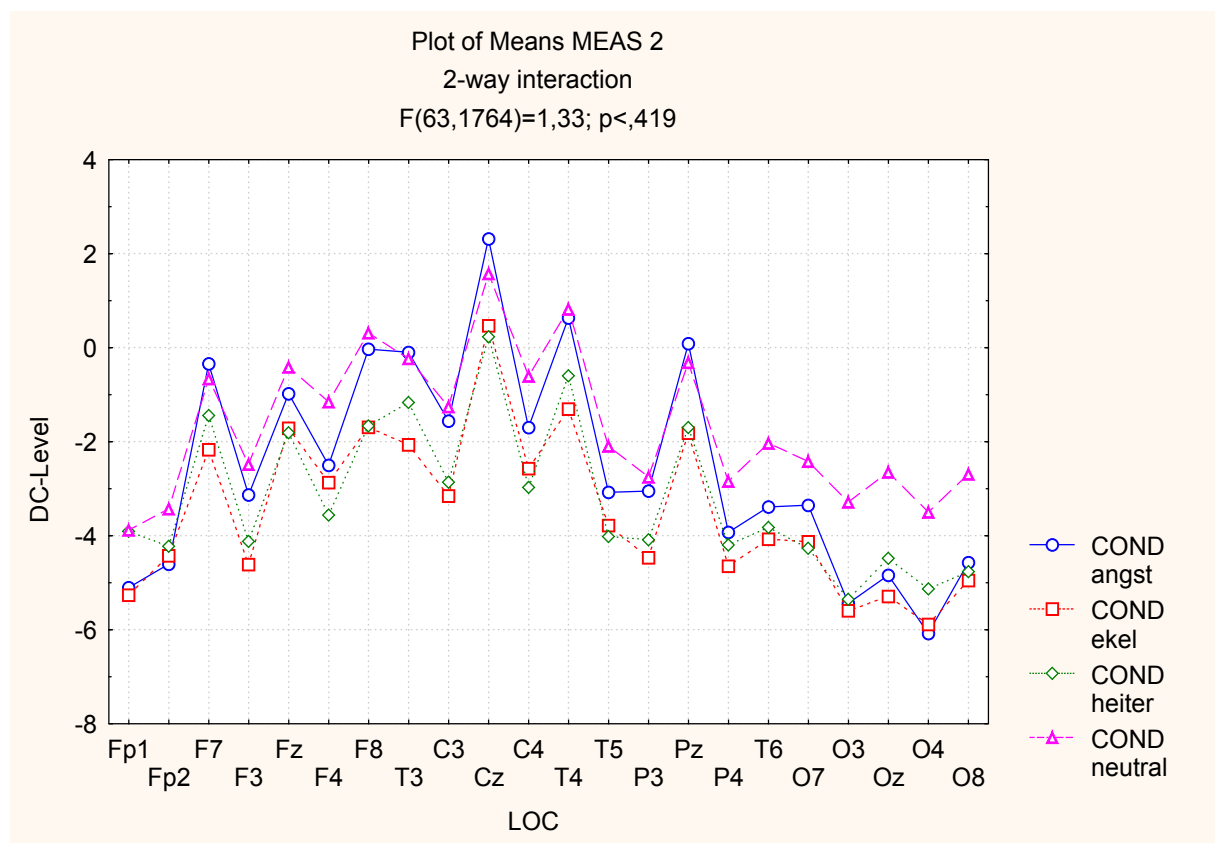


14.1.2 „Das Betrachten verschieden emotionaler und neutraler Filme löst differenzierte

Potentialverteilungen (Amplitudenmittelwerte, DC-Topographien) aus, wobei die Oberflächenpotentiale bei den emotionalen Filmsequenzen eine signifikant stärkere Positivierung aufweisen.“

Bei den MWVA (siehe Anhang, S.) zur Überprüfung dieser Hypothese wurde mit den ursprünglichen Daten, also nicht mit den Subtraktionsdaten, gerechnet. Damit erhöhte sich die Anzahl der Bedingungen von 3 auf 4: angst, ekel, heiter und neutral. Die beiden anderen Faktorenstufen (location, group) blieben gleich. Es ergaben sich zu keinem der 12 Messpunkte signifikante Ergebnisse. Anhand dieser Analyse konnte die H2 nicht bestätigt werden. Die große Ähnlichkeit der Potentialverteilungen lässt sich gut anhand der nächsten Grafik erkennen. Dargestellt wird der MP 2 (die grafischen Darstellungen der übrigen MP finden sich im Anhang, S.), der in der Subtraktionsbedingung (siehe 14.1.1, „Überprüfung der H1“, S. 93) signifikante Unterschiede, sowohl was Amplitudenmittelwerte, als auch DC-Topographie betrifft, zwischen den Emotionsbedingungen ergab.

Abb. 4



14.1.3 Überprüfung der H3:

„Beim Betrachten emotionaler Filmsequenzen unterscheiden sich Männer und Frauen hinsichtlich der gemessenen langsamen Potentiale.“

Weder die MWVA mit den Subtraktionsdaten noch mit den Rohdaten wiesen signifikante Unterschiede mit dem Faktor „group“ zu keinem einzigen der MP auf (siehe Anhang I u. II, ab S. 148). Der Nachweis eines Geschlechtsunterschiedes bezüglich langsamer Potentiale bei der Wahrnehmung emotionaler Filme konnte mit diesem Experiment nicht erbracht werden. Das Betrachten der emotionalen Filme löste bei Männern wie Frauen keine differenzierenden SCP aus.

14.1.4 Überprüfung der H4

„Wenn emotionale Filmsequenzen angesehen werden, kommt es bei den DC-Potentialen zu einer Hemisphärenlateralisierung mit Betonung der rechten Hirnhälfte.“

In der Bedingung Ekel konnte mittels Linearer Kontraste kein Hemisphärenunterschied festgestellt werden – aber nicht so bei den Emotionen „Heiterkeit“ und „Angst“.

Der Hemisphärenunterschied bei der positiven Emotion zeigt sich über beinahe die gesamte Zeitspanne hinweg primär in der Frontalregion.

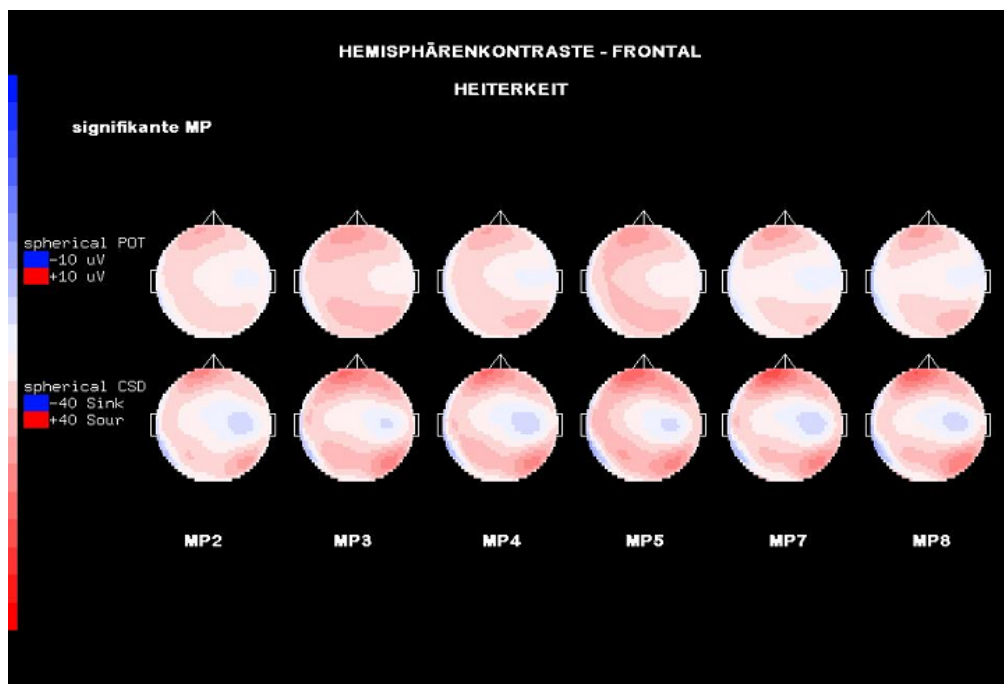
Tab. 5: **sign. LK frontal (FP1,F3, F7:FP2, F4, F8; DC-Level) für „Heiterkeit“**

	Sum of		Mean		
M2	Squares	df	Square	F	p-level¹
Effect	21,167	1	21,167	13,322	0,001
Error	42,899	27	1,589		
M3					
Effect	28,288	1	28,288	12,880	0,001
Error	59,300	27	2,196		
M4					
Effect	18,867	1	18,867	6,407	0,017
Error	79,503	27	2,945		
M5					
Effect	21,986	1	21,986	7,811	0,009
Error	76,002	27	2,815		
M6					
Effect	12,017	1	12,017	4,373	0,046
Error	74,191	27	2,748		
M7					
Effect	15,597	1	15,597	4,687	0,039
Error	89,838	27	3,327		
M8					
Effect	22,334	1	22,334	4,798	0,037
Error	125,674	27	4,655		

¹ Da es sich um geplante apriori Kontraste handelt, wurde das Signifikanzniveau nicht korrigiert.

Die frontale DC-Aktivität bei Heiterkeit weist über die frühen Messpunkte eine Hemisphärenlateralität auf, wobei die linke Seite eine stärkere Positivierung zeigt.

Abb. 5



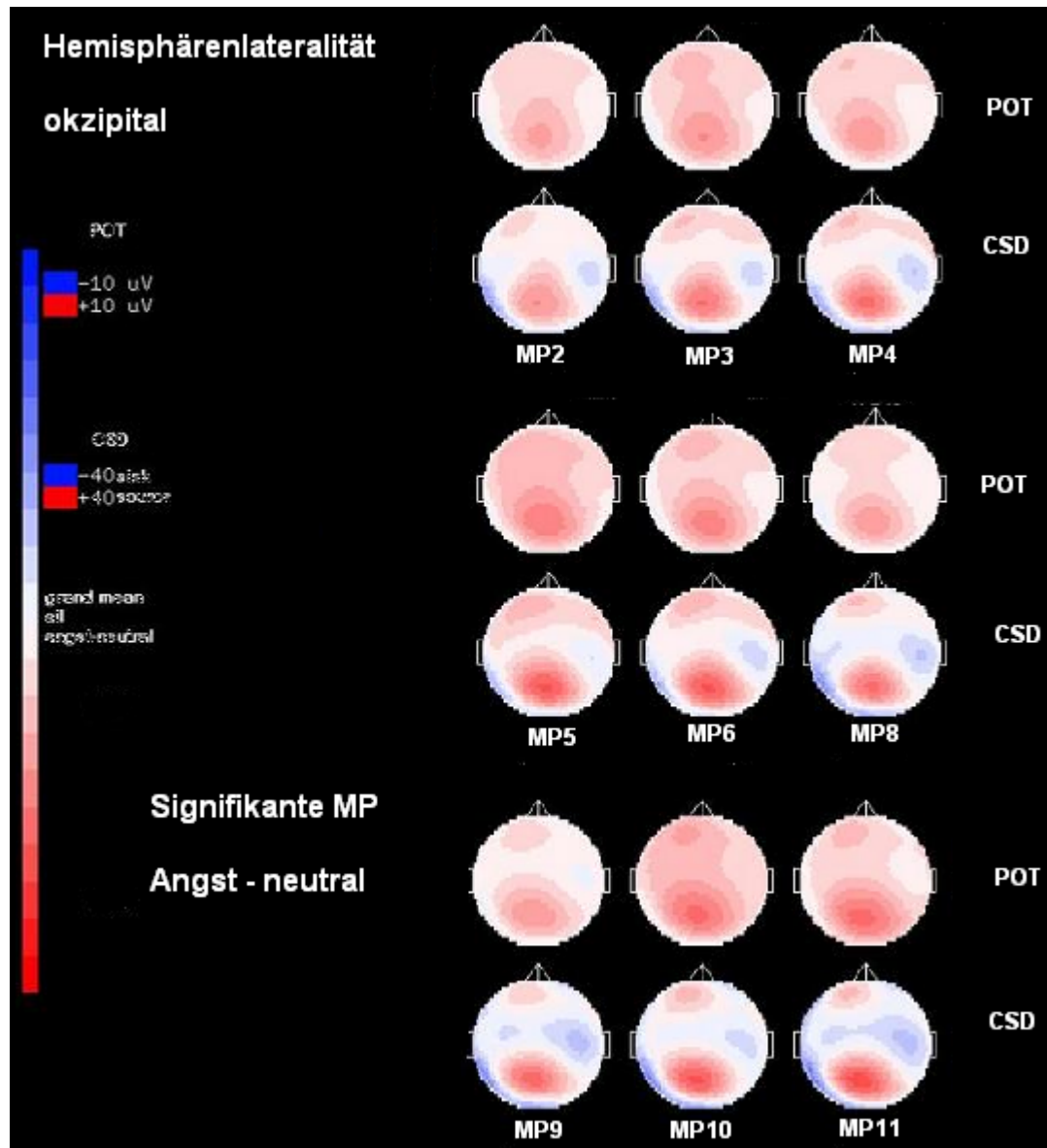
In der Bedingung „Angst“ konnte eine signifikante Hemisphärenlateralität mittels LK über dem Okzipitalcortex nachgewiesen werden. Die Amplituden an den posterioren Elektroden auf der linken Seite erwiesen sich dabei als negativer als die der rechten Seite.

Tab. 6

LK - okzipital - Angst

okzipital	Summe d.	FG	Mittel	F	p
	Quadrate		Quadr		
M2	16,426	1	16,426	9,202	0,006
Fehler	37,486	21	1,785		
M3	21,817	1	21,817	17,429	0,000
Fehler	26,287	21	1,252		
M4	20,794	1	20,794	10,358	0,004
Fehler	42,157	21	2,007		
M5	19,566	1	19,566	9,495	0,006
Fehler	43,273	21	2,061		
M6	14,149	1	14,149	5,994	0,023
Fehler	49,569	21	2,360		
M8	24,586	1	24,586	8,585	0,008
Fehler	60,138	21	2,864		
M9	19,963	1	19,963	4,947	0,037
Fehler	84,736	21	4,035		
M10	27,605	1	27,605	7,606	0,012
Fehler	76,214	21	3,629		
M11	28,047	1	28,047	4,981	0,037
Fehler	118,252	21	5,631		

Abb. 6:



Zu sehen sind hier die SCP und CSD maps der Bedingung Angst zu den signifikanten Analysepunkten hinsichtlich der Hemisphärenlateralität. Im Bereich der O7 lässt sich links vor allem beim CSD mapping eine stärkere Negativierung beobachten.

14.2 Diskriminanzanalysen (DA)

Zu den MP, die lt. MWVA, bei den Subtraktionsdaten signifikante Unterschiede zwischen den Faktoren location x cond ergeben hatten wurden infolge Diskriminanzanalysen gerechnet. Ziel war es, mögliche Muster der Potentialverteilungen passend zu den jeweiligen Emotionen zu diskriminieren. Um die DA berechnen zu können, musste erst der Datensatz „gekippt“ werden – die ursprünglich abhängige Variable (langsame Potentiale an den Elektroden) wurde zur unabhängigen Variable, während die Bedingung „cond“ (angst, ekel, heiter) zur abhängigen Variable wurde.

Bei keiner der gerechneten DA konnte eine eindeutige Musterzuteilung nachgewiesen werden (siehe Tab. 6). Das inverse Gütemaß Wilks' Lambda gibt Auskunft über die Trennfähigkeit der Diskriminanzfunktion. Ein Wert nahe 1 (wie bei allen berechneten DA dieser Untersuchung) deutet auf eine schlechte Trennfähigkeit hin. Wilks' Lambda erreichte nie Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$), womit unter Gültigkeit der Nullhypothese (die Gruppenmittel der Diskriminanzwerte in der Grundgesamtheit sind gleich groß) keine ausreichend gute Gruppentrennung zu keinem der in den MWVA signifikanten Messpunkten möglich war.

Tab. 7:

Wilks' Lambda					
Test der Funktion(en)		Wilks-Lambda	Chi-Quadrat	df	Signifikanz
MP1	1 bis 2	0,341	59,707	44	0,057
	2	0,718	18,416	21	0,623
MP2	1 bis 2	0,397	51,250	44	0,211
	2	0,738	16,842	21	0,721
MP3	1 bis 2	0,464	42,565	44	0,533
	2	0,787	13,260	21	0,899

14.3 Deskriptive Analyse der EEG-Daten

14.3.1 sLORETA

14.3.1.1 Quellenlokalisation der signifikanten MWVAs zu den MPn 1,2,3

In allen drei Emotionsbedingungen (Subtraktionsdaten) zeigte sich die gleiche neuronale Generatorregion– das Brodmann Areal 10, bzw. der mediale frontale Gyrus im Frontallappen ohne eindeutige hemisphärische Präferenz.

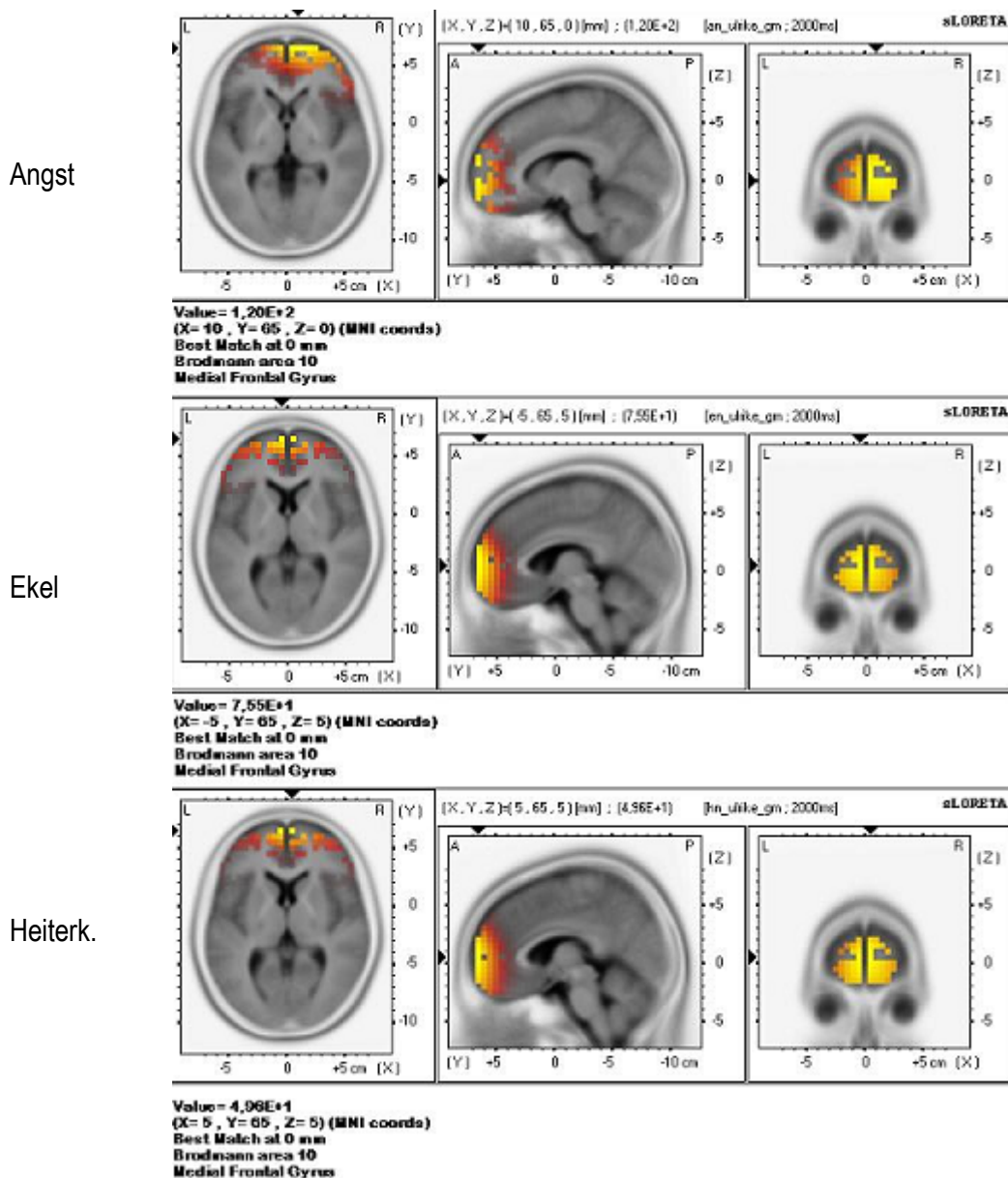


Abb. I:

sLORETA-Bilder der Subtraktionsbedingungen (von der Aktivierung bei neutralem Filmsehen bereinigt) Angst, Ekel und Heiterkeit zu MP3 (11,5-12sec).

Das BA 10 hat im Rahmen emotionaler Prozesse die Aufgabe der kognitiven Bewertung des emotionalen und motivationalen Gehaltes eines Stimulus. Es hat enge Verschaltungen zur Amygdala und stellt gemeinsam mit dieser und dem anterioren temporalen Cortex ein Netzwerk dar, das der Integration von Informationen über Umwelt und Emotionen dient (Barbas, H., 2008). Zudem wird es auch als wichtiger – kognitiver - Teil des Konzeptes der Theory of Mind (ToM) erachtet (Shamay-Tsoory et al., 2009).

14.3.1.2 Einzelvergleiche der Emotionsbedingungen mit sLORETA

Angst im Vergleich zu Heiterkeit und Ekel

Beim Vergleich zwischen den Emotionsbedingungen, wobei wiederum die von der Aktivität des neutralen Fernsehens bereinigten Subtraktionsdaten verwendet wurden, hoben sich zwei Generatorareale ab, die in der Bedingung Angst signifikant stärker aktiviert waren, als bei Heiterkeit oder Ekel: die rechte Insula und der rechte inferiore frontale Gyrus (IFG), der als pars opercularis, als Teil des FC, die Insel überdeckt.

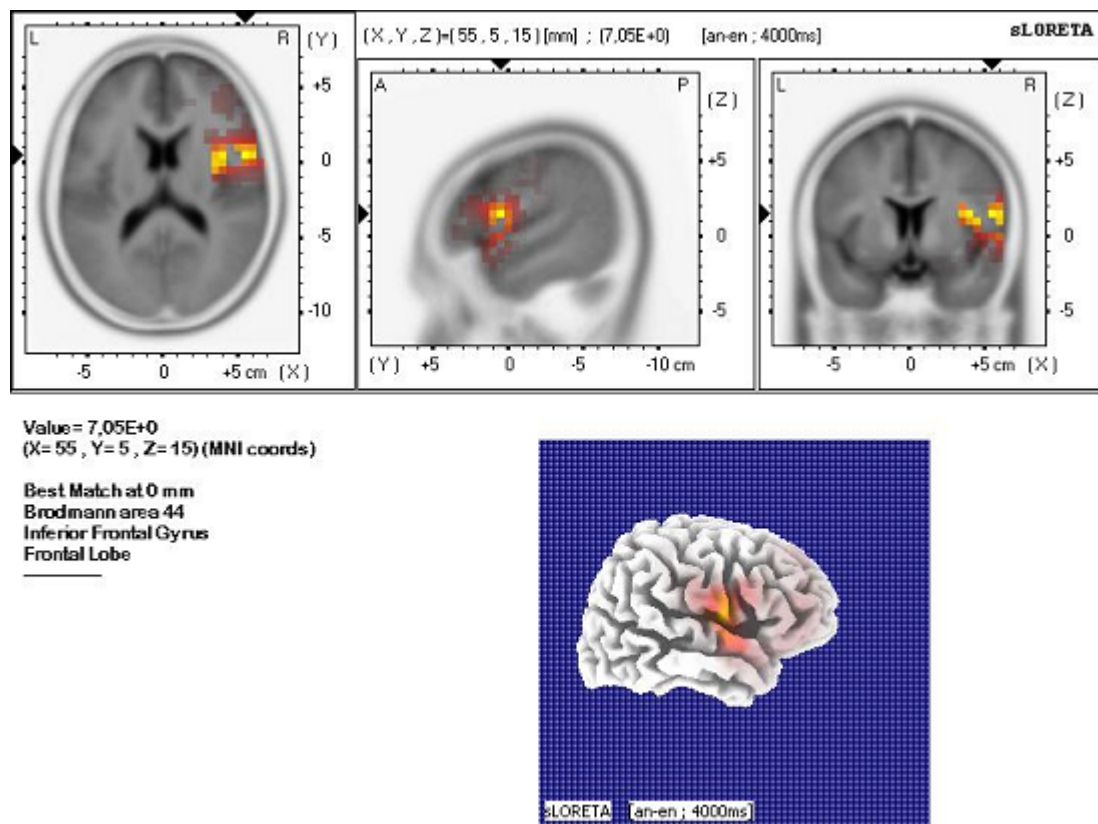
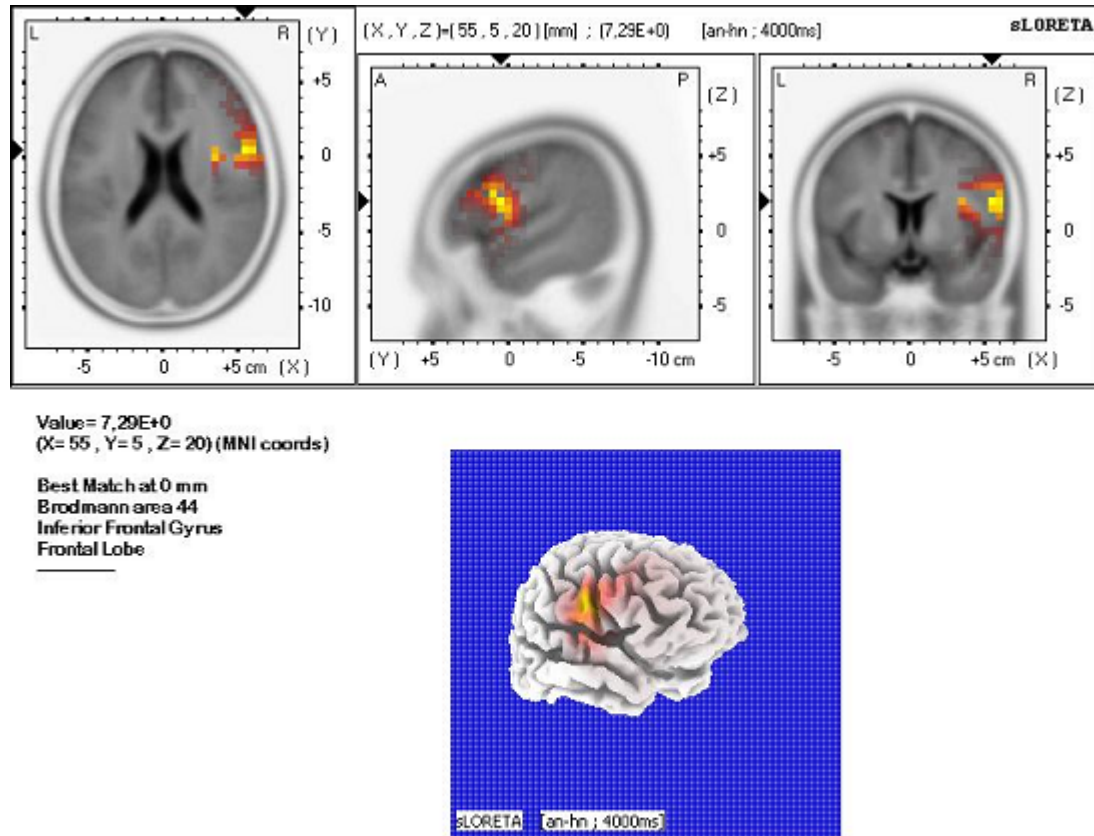


Abb. II:

Angst – Ekel bei MP 5 (13,5 -14 sec)

Abb.: III:

Angst – Heiterkeit bei MP5 (13,5 – 14 sec)



Der IFG spielt eine Rolle bei „adaptive emotional behavior“ (Lee et al., 2008). Die Aktivität im rechten inferioren Gyrus, der rechten anterioren Insula und im superioren temporalen Sulcus wird moduliert in Abhängigkeit zur subjektiv wahrgenommenen Intensität des präsentierten emotionalen Gesichtsausdruckes. Außerdem ist der rechte IFG (BA 44) Teil des „mirror neuron systems“, das im Rahmen emotionaler Prozesse, die beobachtete Emotion imitiert und infolge ein neuronales Muster entstehen lässt, das ähnlich dem ist, als würde man die Emotion selbst erleben.

Die Insula wiederum gilt als ein Bereich, der Emotionen mit Bewusstsein verknüpfen könnte (Izard, 2009). Bei Empathie spielt die Insula insofern eine Rolle, als sie die emotionale Einfärbung der Information übernimmt (Shamay-Tsoory et al., 2009).

Abb. IV:

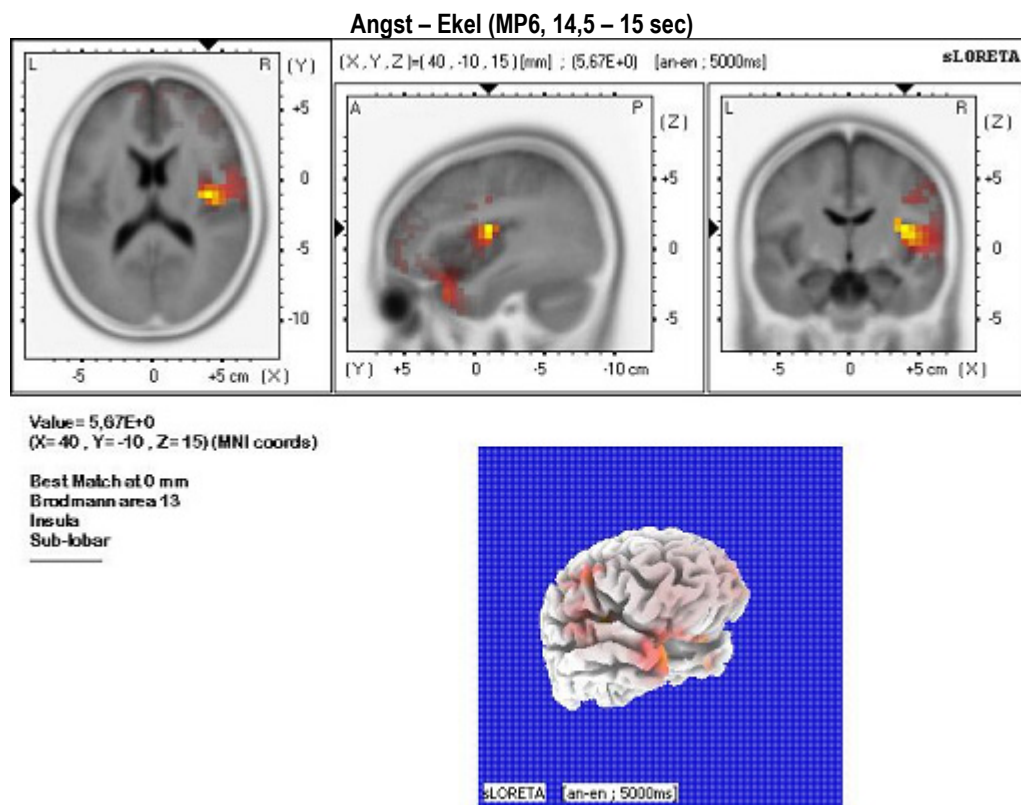
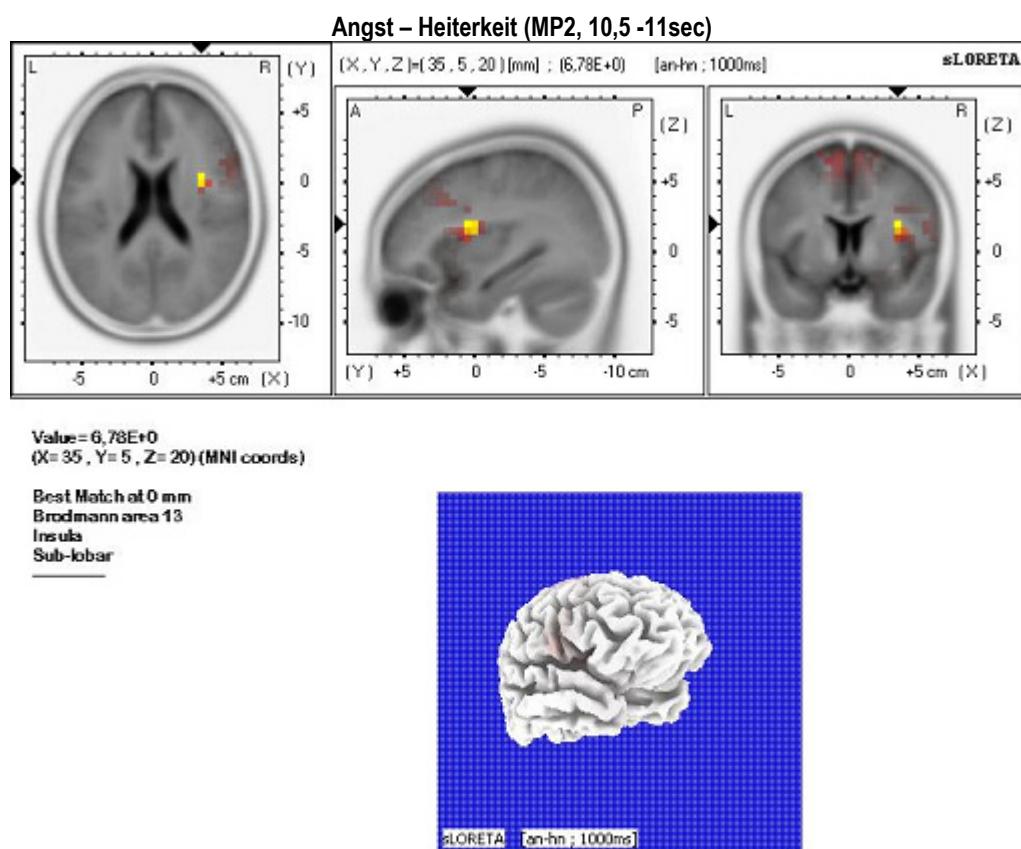


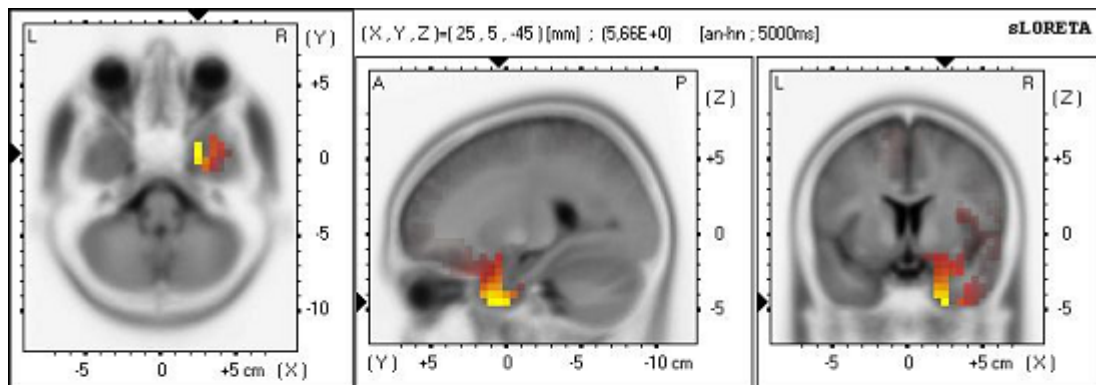
Abb. V:



Zum IFG und der Insula gesellte sich beim Vergleich Angst – Heiterkeit ein drittes Generatorareal, das bei Angst signifikant stärker aktiviert war: der Uncus (BA38) in der rechten Hemisphäre. Die Funktionen des BA 38 oder auch des Temporalen Pols sind noch weitgehend ungeklärt, bzw. noch nicht genau definiert. Es scheint aber, dass in diesem Areal komplexe, höher verarbeitete Wahrnehmungsinputs mit viszerale, emotionalen Zuständen verbunden werden (Ding et al., 2009).

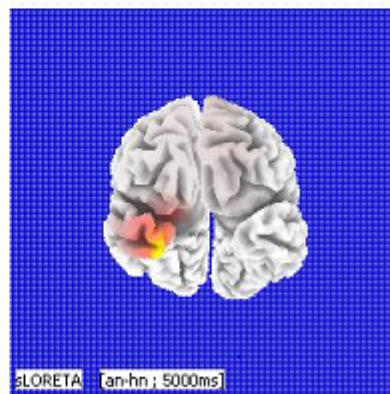
Abb. VI:

Angst – Heiterkeit (MP6, 14,5 – 15 sec)



Value = 5,66E+0
(X= 25 , Y= 5 , Z= -45) (MNI coords)

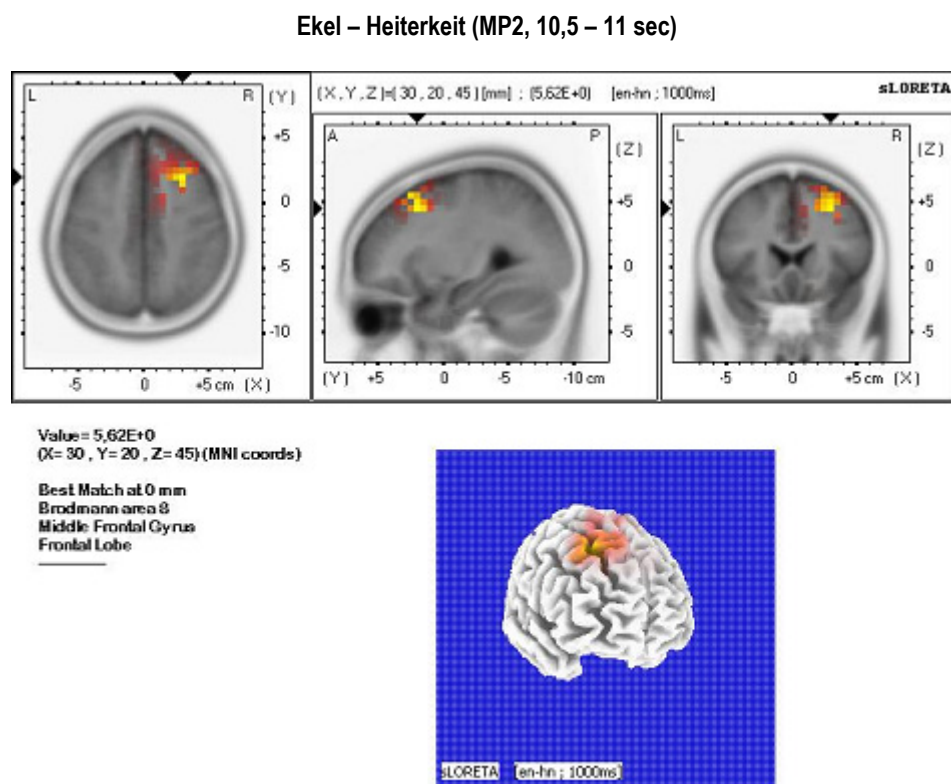
Best Match at 0 mm
Brodmann area 38
Uncus
Limbic Lobe



Ekel im Vergleich zu Heiterkeit:

Zwischen den Emotionen Ekel und Heiterkeit konnte zwar im statistischen Vergleich der Oberflächenpotentiale kein signifikanter Unterschied gefunden werden, hinsichtlich unterschiedlich aktivierter Generatorpotentiale wies sLORETA aber zwei Bereiche aus, die in der Bedingung Ekel stärker aktiviert wurden als bei Heiterkeit: den mittleren frontalen Gyrus (BA 8) und den Gyrus Cinguli (BA 32).

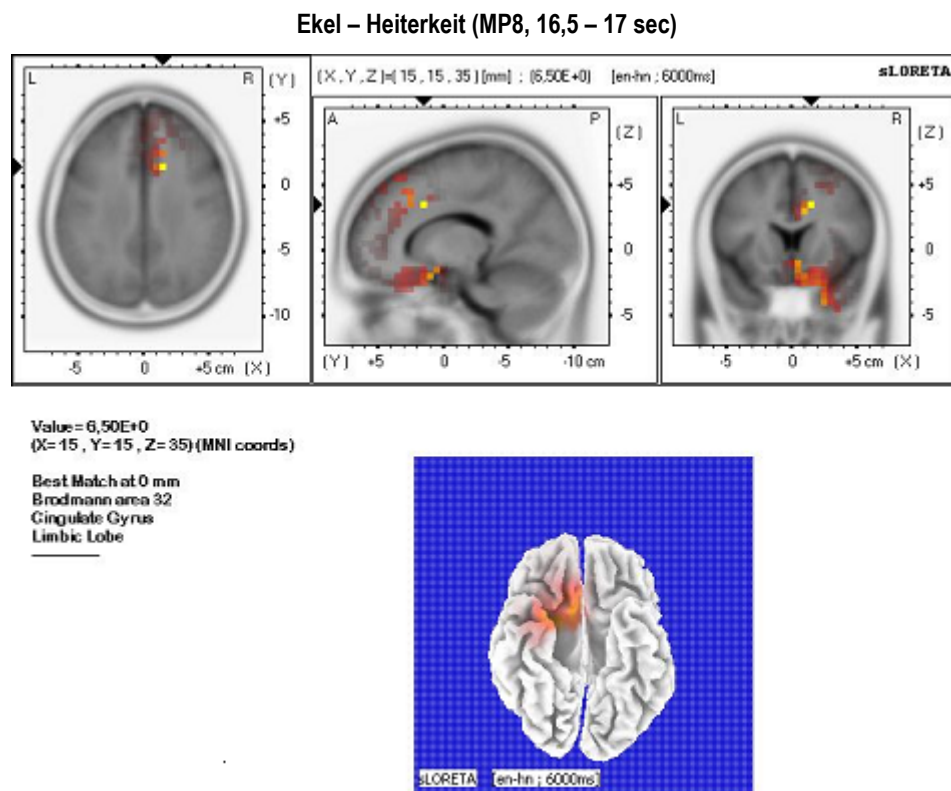
Abb. VII:



Das BA 8 gehört zur prämotorischen Rinde und ist als sog. frontales Augenfeld für die Steuerung der äußeren Augenmuskeln zuständig. Der dorsomediale Frontalcortex, der die BA 8 und 9 umfasst, wird aber auch in Verbindung gebracht mit sozialer Kognition (D'Argembeau, A. et al., 2007) und intensiver sozialer Interaktion, wie Aggressionen (Lotze, M. et al., 2007).

Im Rahmen sozialen Verhaltens spielt auch der anteriore cinguläre Cortex (ACC), in dem das BA 32 liegt, eine Rolle (Devinsky et. al, 1995). Der als „affective division“ (Vogt, 1993) bezeichnet Teil des Gyrus Cinguli ist an diversen kognitiven wie emotionalen Prozessen beteiligt, z.B.: bei Motivation und zielgerichtetem Verhalten (Devinsky et al., 1995), Entscheidungsverhalten und Konflikt – Monitoring (Botvinick, M. M., 2007), sowie emotionaler Selbstregulation (Posner et al., 2007).

Abb. VIII



14.3.2 Deskriptive Analyse der DC – Maps

Im Laufe dieser Untersuchung wurden zwei verschiedene „averages“ und infolge auch zwei unterschiedliche Arten von DC-Maps generiert. Der erste Datensatz wurde mit dem SEA-Mittelungsverfahren generiert und ging auch in die statistische Analyse ein. Der zweite gemittelte Datensatz (overall) wurde nur zwecks einer zusätzlichen Beschreibung der gemessenen Potentiale und ihrer Verteilung generiert und dient ausschließlich der deskriptiven Veranschaulichung.

14.3.2.1 DC-Maps der SEA Daten

Subtraktionsbedingung „Angst – Neutral“

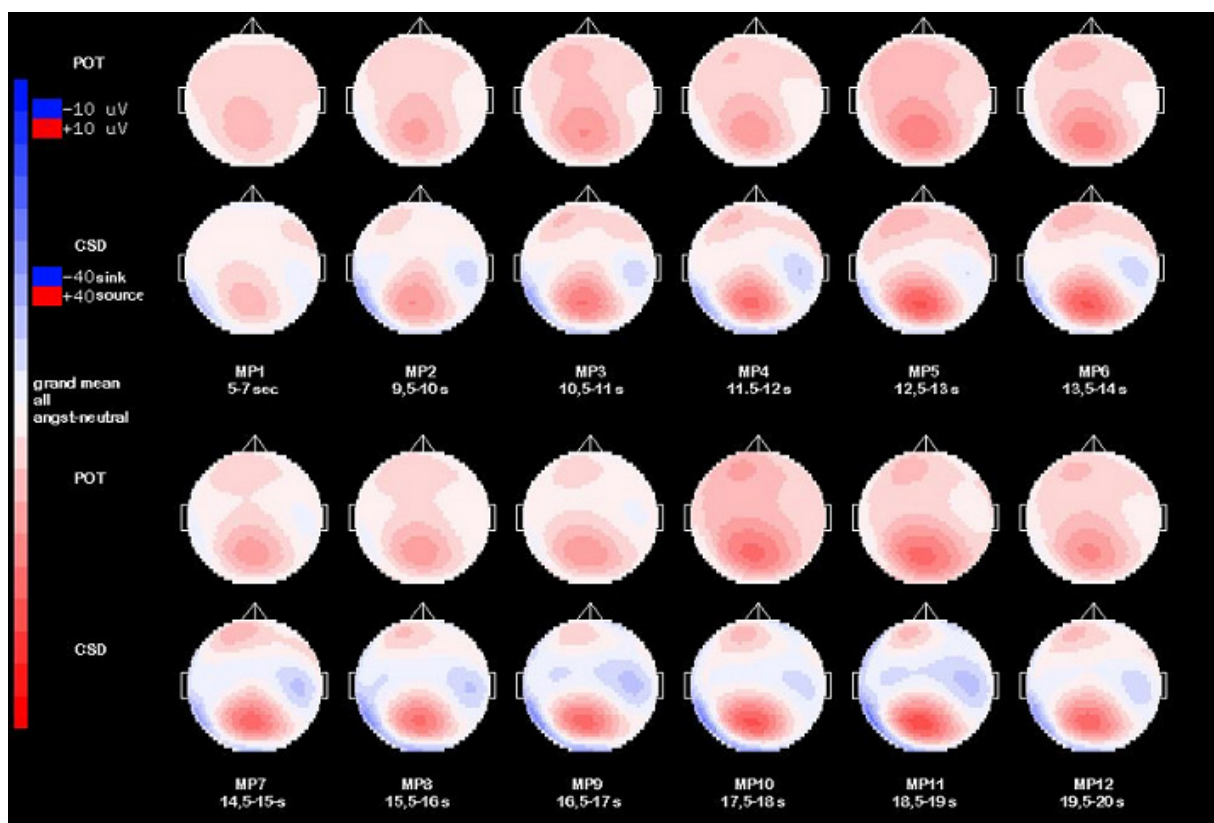


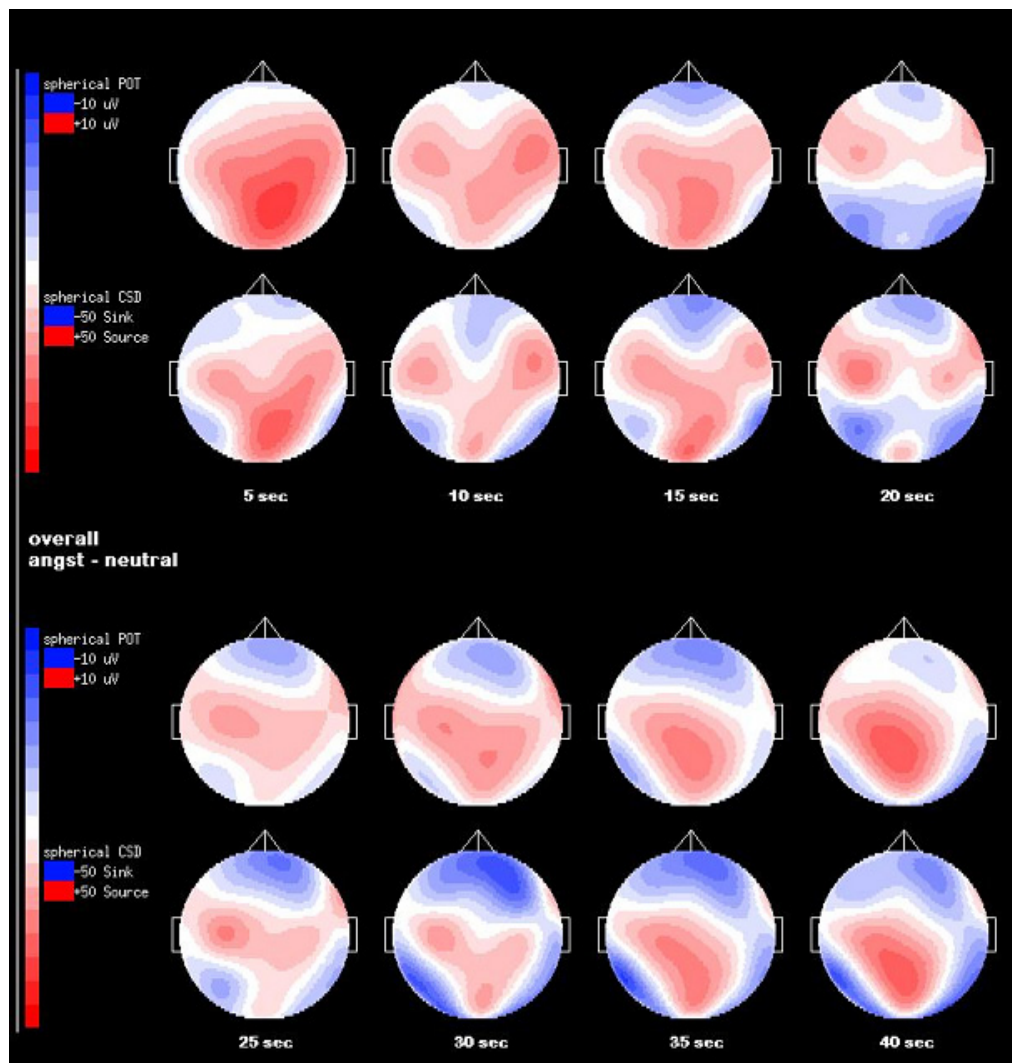
Abb. IX

14.3.2.1 DC-Maps der Overall-Averages

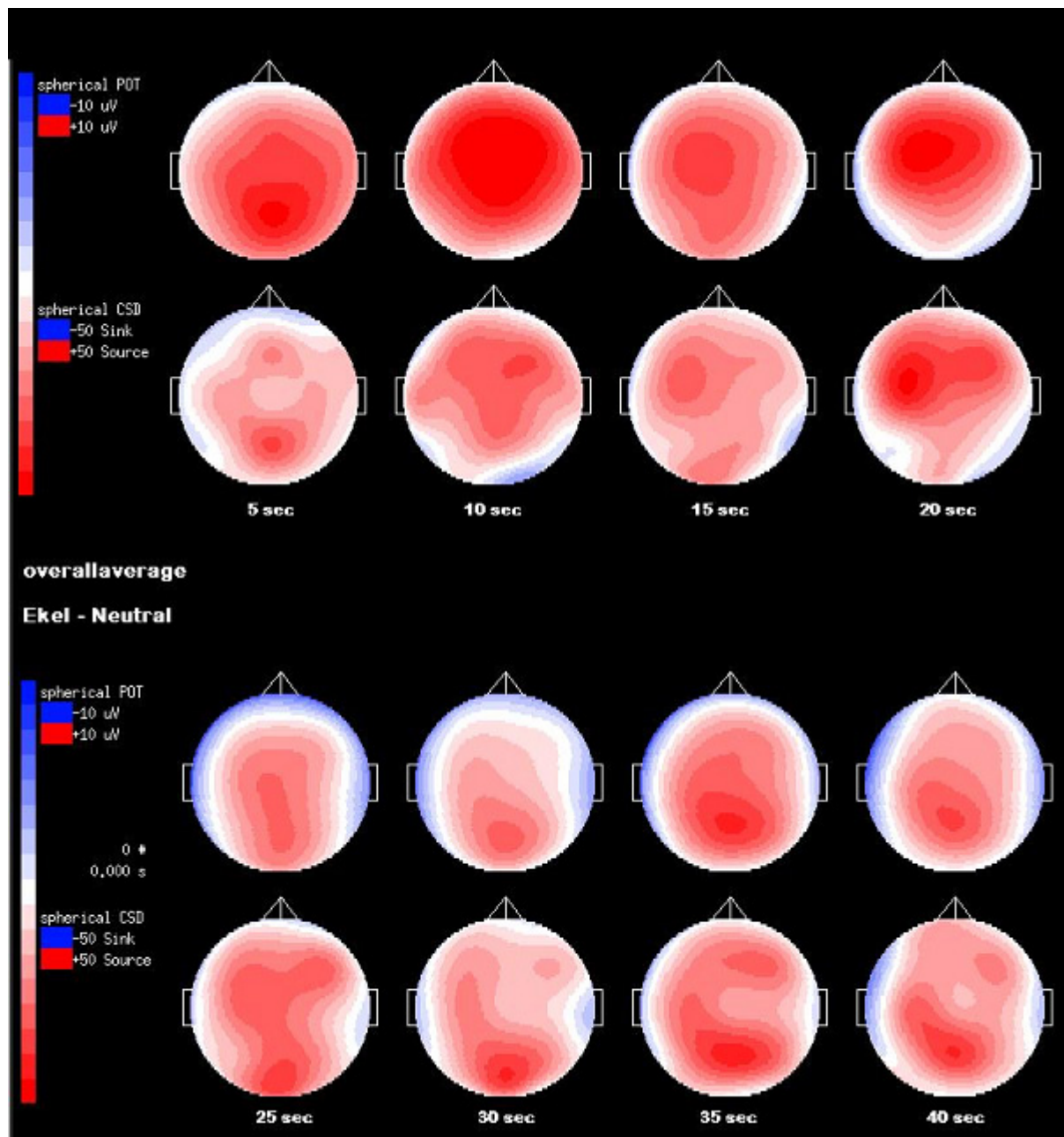
Diese maps stellen einen analogen Zeitverlauf dar. Hier wurde auf „herkömmliche“ Weise geaveragt und nicht gestaffelt. Gemittelt wurden die ersten 40 Sekunden nach Filmbeginn, allerdings nicht pro Versuchsperson für jede Bedingung (was wegen des zu geringen N nicht möglich gewesen wäre), sondern über alle Versuchspersonen pro Bedingung. Es existieren also nur „grand means“ ausschließlich zur deskriptiven Analyse um zumindest visuell einen analogen Zeitverlauf der langsamen Potentiale darstellen zu können.

Abb. XI

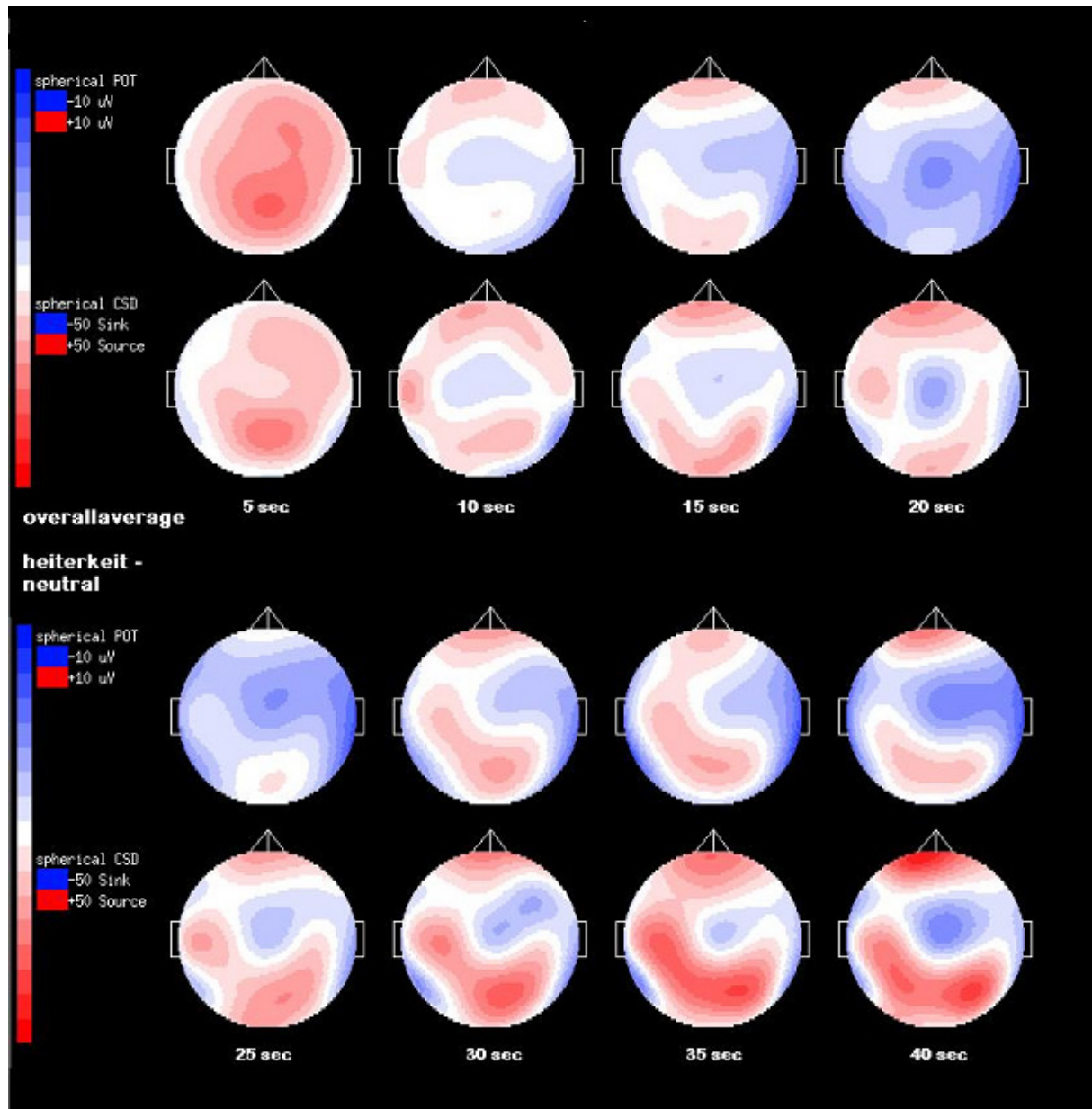
Angst – Neutral



Bei 5 sec tritt die typische großflächige Positivierung bei emotionalen Stimuli auf mit Schwerpunkt im zentralen Parieto-okzipitalbereich. Im weiteren Verlauf bleibt eine großflächige Positivierung zwar bestehen sie nimmt aber ab und verlagert sich Richtung frontozentral, erst in den letzten 10 Sekunden wandert sie wieder zurück. Hingegen in den frontopolaren Arealen lässt sich v.a. rechts eine im Verlauf stärker werdende Negativierung erkennen.



In der Bedingung Ekel lässt sich die eindrucksvollste Positivierung beobachten. Bei 10 Sekunden gar scheint sie die gesamte Cortexoberfläche einzunehmen. Wie bei Angst verlagert sich der Mittelpunkt der Positivierung von parieto-okzipital nach frontal und wieder zurück.



Eine großflächige Positivierung wie bei Angst oder Ekel lässt sich in der Bedingung Heiterkeit bis zu den ersten 5 Sekunden erkennen. Diese bleibt lokal links frontopolar über den gesamten Zeitraum bestehen und wird dort gegen Ende sogar stärker. Auch im Parieto-Okzipitalbereich und links zentral sind anhaltende positive shifts beobachtbar. Im Gegensatz zu den anderen beiden Bedingungen treten hier rechts temporofrontal negative langsame Potentiale auf.

14. 4 Auswertung der Fragebögen

Nach jeder Filmsequenz mussten die Versuchspersonen auf einem vorgefertigten Fragebogen (siehe Anhang) angeben, ob und welche Emotion sie während des Betrachtens des Filmausschnitts gefühlt hätten. Zudem sollten sie anhand einer visuellen Analogskala (VAS) die Stärke oder Intensität der Emotion bewerten.

Die so gewonnenen Daten sollen Aufschluss darüber geben, ob die ausgesuchten Filmsequenzen die gewünschten Emotionen hervorrufen und sich diese auch von den neutralen Filmen signifikant bezüglich der Intensität unterscheiden. Es handelt sich demnach um eine Art Postvalidierung des Itemmaterials. Diese im Rahmen eines Vorversuches durchzuführen, war leider aus zeitlichen wie technischen Gründen nicht möglich.

Ausgangswerte für die Analyse waren die Intensitätswerte der VAS für jede gesehene Filmsequenz. Die Werte konnten zwischen 0 (keine Emotion) und 100 (äußerst starke Emotion) liegen. Die Intensitätswerte wurden deshalb gewählt, weil ein einfaches Ankreuzen, die entsprechende Emotion gespürt zu haben, zu undifferenziert wäre. Information darüber, ob die Emotionsinduktion auch intensiv genug für jede Bedingung war, würde verloren gehen. Gab eine Vp eine „nicht passende“ Emotion an, z. B.: Heiterkeit bei einer Sequenz der Kategorie Ekel, wurde für die Berechnungen der Wert 0 verwendet, weil die erwartete Emotion mittels dieses Filmausschnitts nicht ausgelöst werden konnte. Bei den neutralen Sequenzen wurde jede angegebene Emotion, egal welcher Valenz, miteinbezogen – schließlich können auch vermeintlich ereignislose Filme für emotionales Arousal sorgen, und sei es, weil man sich ärgert, dass der Film langweilig ist.

Für jede Vp wurde ein „emotionaler“ Index (Mittelwert aller Intensitätswerte zu Filmen einer Kategorie) für jede Bedingung errechnet.

Statistisch überprüft wurde, ob sich die Bedingungen unterscheiden, sprich es wurde angenommen, dass beim Einschätzen der subjektiven Emotionalität, ausgelöst durch den Film, die Bedingung „Neutral“ signifikant weniger intensiv als die Emotionsbedingungen erlebt wird. Zudem war von Interesse, ob es Unterschiede beim Emotionsrating zwischen Männern und Frauen gibt, bzw. sich die Hypothese bestätigt, dass Frauen ihre Gefühle stärker auf den VAS zum Ausdruck bringen als die männlichen Kandidaten. Außerdem wurde geprüft, ob möglicherweise die Abfolge, es gab ja zwei davon, eine mit mehr Angst-, die andere mit mehr Ekelsequenzen, Einfluss auf die Bewertung hat.

Statistisch analysiert wurden die Hypothesen mit einer univariaten dreifaktoriellen Messwiederholungsvarianzanalyse (vierstufiger Messwiederholungsfaktor: Condition, Faktor 1: Geschlecht, Faktor 2: Abfolge)

Tab. 7:

Multivariate Tests ^b							
Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
cond	Pillai-Spur	0,869	50,960 ^a	3	23	0	0,869
	Wilks-Lambda	0,131	50,960 ^a	3	23	0	0,869
	Hotelling-Spur	6,647	50,960 ^a	3	23	0	0,869
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	6,647	50,960 ^a	3	23	0	0,869
cond * Abfolge	Pillai-Spur	0,054	,442 ^a	3	23	0,725	0,054
	Wilks-Lambda	0,946	,442 ^a	3	23	0,725	0,054
	Hotelling-Spur	0,058	,442 ^a	3	23	0,725	0,054
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	0,058	,442 ^a	3	23	0,725	0,054
cond * Geschlecht	Pillai-Spur	0,457	6,461 ^a	3	23	0,002	0,457
	Wilks-Lambda	0,543	6,461 ^a	3	23	0,002	0,457
	Hotelling-Spur	0,843	6,461 ^a	3	23	0,002	0,457
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	0,843	6,461 ^a	3	23	0,002	0,457
cond * Abfolge * Geschlecht	Pillai-Spur	0,086	,722 ^a	3	23	0,549	0,086
	Wilks-Lambda	0,914	,722 ^a	3	23	0,549	0,086
	Hotelling-Spur	0,094	,722 ^a	3	23	0,549	0,086
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	0,094	,722 ^a	3	23	0,549	0,086

Die MWVA (siehe Tab.7) und durchgeführte Einzelvergleiche (siehe Tab.8) bestätigen die Annahme, dass die Bedingung „Neutral“ sich signifikant von den Emotionsbedingungen hinsichtlich der subjektiven Ratings unterscheidet ($F=6,461$, $p=0,002$; $\eta^2=0,457$), nämlich in der Form, dass sie weit weniger intensiv erlebt wird. Der Effekt kann als groß bezeichnet werden. Die Intensitätsratings der drei Emotionsbedingungen unterscheiden sich hingegen nicht signifikant voneinander.

Tab. 8

Paarweise Vergleiche						
Maß: MASS_1						
(I)cond	(J)cond	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig. ^a	95% Konfidenzintervall für die Differenz ^a	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-2,58	3,124	1,00	-11,53	6,37
	3	0,403	2,692	1,00	-7,308	8,114
	4	31,882*	3,562	0,00	21,677	42,087
2	1	2,58	3,124	1,00	-6,37	11,53
	3	2,983	3,316	1,00	-6,518	12,484
	4	34,462*	3,717	0,00	23,813	45,11
3	1	-0,403	2,692	1,00	-8,114	7,308
	2	-2,983	3,316	1,00	-12,484	6,518
	4	31,479*	2,552	0,00	24,167	38,791
4	1	-31,882*	3,562	0,00	-42,087	-21,677
	2	-34,462*	3,717	0,00	-45,11	-23,813
	3	-31,479*	2,552	0,00	-38,791	-24,167

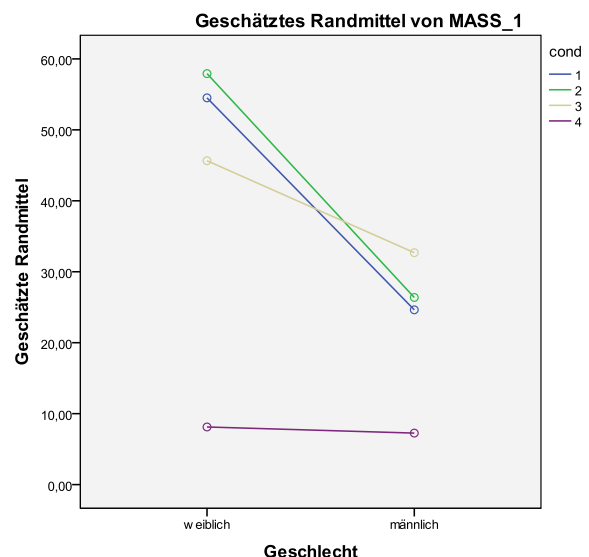
Basiert auf den geschätzten Randmitteln

a. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Es konnte auch die zweite Hypothese bestätigt werden, dass sich Männer und Frauen hinsichtlich der subjektiv erlebten Emotion unterscheiden. Frauen geben ihre Emotionen signifikant intensiver an, als Männer. Es sei erwähnt, dass bei der statistischen Analyse der objektiven Daten, der gemessenen langsamen Potentiale, kein Geschlechtereffekt auftrat.

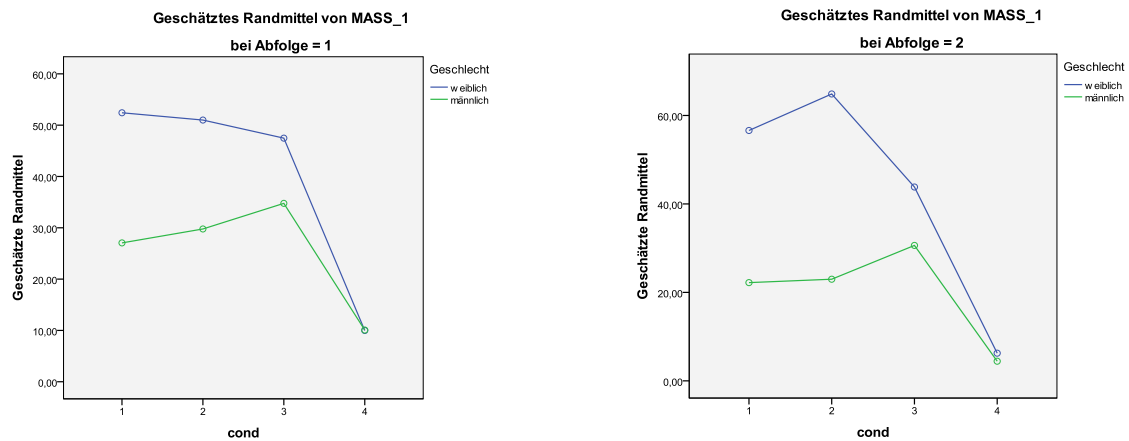
Abb. XIV : cond 1....Angst, 2....Ekel, 3....Heiterkeit, 4....Neutral



Anhand der Grafik (Abb.) lässt sich eine Wechselwirkung zwischen Geschlecht und Emotionsart der Filmsequenzen erkennen: Während Ekel und Angstsequenzen, also Emotionen negativer Valenz, bei den Frauen für die höchsten Ratings sorgten, meinten die männlichen Versuchspersonen bei den heiteren Filmen die intensivsten Emotionen erlebt zu haben.

Keine Unterschiede gab es hingegen bei den subjektiven Emotionsratings, was die zwei verschiedenen Abfolgen betrifft. Es hatte keinen Einfluss, weder bei Frauen noch Männern, ob die Vorgabe mehr Angstsequenzen (Abfolge1) oder mehr Ekelsequenzen (Abfolge2) enthielt (siehe Abb.).

Abb. XV



Es lässt sich sagen, dass die Filmsequenzen durchaus geeignet waren, die intendierte Emotion subjektiv zu induzieren. Die neutralen Sequenzen lösten signifikant weniger Emotionen aus als die Emotionsfilme. Diese führten sowohl zum Erleben der gewünschten Zielemotion als auch zu einem entsprechenden Arousal. Die Intensitätswerte für die emotionalen Sequenzen liegen, über beide Gruppen gemittelt, bei durchschnittlich ~ 40 mm (siehe Tab.9) auf der VAS, wobei aber die weiblichen Versuchspersonen signifikant höher rateten als die Männer (siehe Tab.7, S. 118 und Abb. XIV, S. 119). Bei Validierungen emotionsinduzierender Stimuli sollte daher auf einen möglichen Geschlechtereffekt Rücksicht genommen werden.

Tab. 9:

cond	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Angst	39,572	3,433	32,501	46,643
Ekel	42,152	3,172	35,618	48,685
Heiterkeit	39,169	2,7	33,608	44,73
Neutral	7,69	1,862	3,856	11,524

15 Interpretation und Diskussion

Beim Betrachten emotionaler Filmsequenzen kommt es in Abhängigkeit von der emotionalen Qualität zu differenzierten DC-Topographien. Bei den angstinduzierenden Szenen dieses Experiments wurden andere kortikale Areale als bei Heiterkeit und Ekel aktiviert. Dabei stellte sich anhand der sLORETA Einzelvergleiche heraus, dass die neuronalen Quellen dieser Unterschiede rechts frontotemporal im inferioren frontalen Gyrus (IFG), in Insula und Uncus lagen. Diese Regionen wurden bei den Angstsequenzen signifikant stärker erregt als in den beiden anderen Bedingungen. Alle mittels sLORETA in den Einzelvergleichen zu den Emotionsbedingungen gefundenen Unterschiede traten durchwegs lateralisiert in der rechten Hemisphäre auf. Ein Lateralisationseffekt hinsichtlich der langsamen kortikalen Potentiale innerhalb der einzelnen Emotionsbedingungen konnte frontal bei Heiterkeit und okzipital bei Angst gezeigt werden. In erstem Fall kam es in der linken Hemisphäre zu einer stärkeren Positivierung präfrontal, während „Angst“ zu einer stärkeren posterioren linkshemisphärischen Negativierung führte. Generell war in den SCP- und CSD-Maps aller drei Bedingungen die emotionstypische großflächige Positivierung auch noch in einem späten Zeitfenster (ab 10 sec) erkennbar, wenn auch mit Dauer der Sequenz reduzierter. Die kortikalen Erregungsmuster waren sowohl für Männer als auch für Frauen gleich - nicht gleich hingegen waren aber die subjektiven Ratings der empfundenen Emotionen, die von den Frauen durchwegs deutlich intensiver bewertet wurden.

Dass im EEG keine Geschlechtsunterschiede zu finden waren, könnte u. a. am Einsatz von nur 22 Skalpelektroden gelegen haben, mit einer höheren Elektrodendichte wären genauere, differenziertere Ergebnisse möglich gewesen. Ebenso kann sich das SEA-Mittelungsverfahren auf die Daten ausgewirkt haben. Schon Hofbauer (1999) diskutierte in seiner Diplomarbeit die Möglichkeit, dass die stufenweise Mittelung der EEG-Potentiale insofern ihre Spuren hinterlässt, als dass am Anfang der Sequenzen beim Averagen eine geringere Anzahl an Trials gemittelt wird und es dadurch zu progressiven Ergebnissen – sprich eher Signifikanzen – kommen könnte, während mit steigendem N gegen Ende hin die Signifikanzwahrscheinlichkeit abnehmen würde. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen tatsächlich einen Signifikanzrückgang über die Zeit hinweg – allerdings wurden die Daten der Averages erst ab 10 Sekunden in Analyse und Interpretation einbezogen, was eigentlich ein „sicherer“ Bereich sein müsste, der valide Ergebnisse und Rückschlüsse zulassen sollte. Ein anderer Nachteil des SEA - Verfahrens ist der Verlust der analogen zeitlichen Auflösung im Millisekundenbereich, die EEG - Untersuchungen gewöhnlich auszeichnet. Mögliche Unterschiede, die im zeitlichen Verlaufsmuster und weniger in der Lokalisation der Emotionsbedingungen (wie beispielsweise in einer Arbeit von Esslen et al., 2004,

gezeigt) begründet liegen, gehen durch das SEA verloren. sLORETA glich diesen Informationsverlust zwar durch die räumliche Lokalisation der neuronalen Generatoren etwas aus, die zeitliche und die räumliche Auflösung zur Verfügung gehabt zu haben, wäre aber optimal gewesen. Optimal wäre auch eine Abdeckung der Schädeoberfläche mit > 64 Elektroden gewesen, was im Rahmen von sLORETA zu einer nahezu makellosen räumlichen Auflösung geführt hätte. Dies war aber aus technischen Gründen zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht möglich, daher heißt es sich mit 22 Elektroden und mit möglichen Ungenauigkeiten wegen der hohen Anzahl an Interpolationen bei sLORETA zufrieden geben. So neigt das Verfahren bei der Darstellung von tiefer liegenden Generatoren zu Unterschätzungen der Amplitudengröße sowie dazu, zwei unterschiedlich neuronale Quellen zu einer „goldenen Mitte“ zusammenzufassen, wenn sie nicht weit genug auseinanderliegen. All diese Effekte verstärken sich natürlich je weniger Elektroden in die Analyse eingehen. Dadurch werden die Daten auch sensibler was Verfälschungen durch Artefakte angeht – eine defekte Elektrode von 22 hat mehr Gewicht als 1 von > 64 . Allerdings – selbst wenn EEG- Artefakte nicht völlig ausgeschlossen werden können, die Messstabilität des EEG, sowie Sorgfalt bei Aufzeichnung (Elektrodenapplikation, Messung, EOG-Korrektur, Referenzwahl) und Kontrolle sollten artifizielle Datenverfälschungen auf ein Minimum reduzieren. Eine andere, im Fall dieses Experiments ungewollte Reduktion allerdings, erfolgte bei der Anzahl der verwertbaren Messungen. Wegen technischer Mängel oder zu vieler Artefakte mussten 13 von 36 Aufnahmen ausgeschlossen werden. 6 Ausfälle rührten daher, dass trotz SEA, aufgrund von Artefakten, das N zum Mitteln bei der Bedingung „Neutral“ nicht ausreichend war. Artefakte wirkten sich hier stärker aus als bei den Emotionsbedingungen, weil bei „Neutral“ nur 10 Wiederholungen pro Durchgang im Experiment stattfanden, während die Emotionssequenzen 15 oder 20 Mal vorgegeben wurden. Die „signal to noise ratio“ der Neutralsequenzen war, auch ohne Artefakte, in jedem Fall geringer als bei den emotionsinduzierenden Filmen. Nachdem die langsamen Potentialmuster beim Betrachten neutraler Filme von den Potentialverläufen während der emotionalen Sequenzen abgezogen wurden, könnte die schlechtere Klarheit oder das stärkere „Rauschen“ der Neutralsignale zu Ungenauigkeiten bei den Subtraktionsdaten geführt haben. Allerdings sollten sich diese Ungenauigkeiten in Grenzen gehalten haben, weil das Verhältnis zwischen Signal und Rauschen nur mit der Quadratwurzel der gemittelten Trials ansteigt.

Die Subtraktion der „neutralen“ Aktivierungen von den Emotionspotentialen könnte aber auch inhaltliche Fehler bergen. So sollte vor Interpretation der Ergebnisse hier erwähnt werden, dass in den Filmsequenzen zur Emotionsinduktion hauptsächlich oder eigentlich ausschließlich Menschen in verschiedenen Situationen zu sehen waren, während die Neutralfilme Landschaften, Gebäude sprich generell Gegenstände zum Inhalt hatten. Nun gilt es aber als wahrscheinlich bis erwiesen, dass im Gehirn bei Präsentation von Menschen und Bewegungen auch ohne emotionale Beteiligung spezifische

Areale aktiviert werden (Hasson et al., 2004). Die vermeintlich exzerpierte emotionale DC – Aktivität der Subtraktionsdaten könnte im schlimmsten Fall ein Ergebnis der Subtraktion von „Mensch - Gegenstand“ und nicht „Emotion - Neutral“ sein. Wegen der generellen Komplexität der Filme sowie der Tatsache, dass es sich um gemittelte Potentiale handelt und den subjektiven Angaben der Versuchspersonen, dass sie Emotionen gefühlt hätten, ist das zwar nicht anzunehmen - nichtsdestotrotz wäre es für künftige Untersuchungen dieser Art doch von Vorteil, wenn neutrale und emotionale Fotos oder Filme bezüglich des visuellen Inhalts möglichst homogen ausgewählt und im Optimalfall parallelisiert würden.

Den Daten dieser Diplomarbeit zufolge unterscheiden sich, statistisch signifikant, die DC-Topographien beim Betrachten von Filmsequenzen verschiedener emotionaler Kategorien. Dabei hebt sich die Angst von Ekel oder Heiterkeit ab. Die deutlichste Differenz zwischen den Emotionen zeigt sich bei den sLORETA – Analysen im Bereich des rechten inferioren Gyrus (IFG, BA 44), der rechten Insula (BA 13) und, ebenfalls rechtsseitig, im Uncus (BA 38)¹. Diese benachbarten Regionen werden in der Angstbedingung signifikant stärker erregt als in den beiden anderen Bedingungen.

Der IFG liegt im ventrolateralen Frontalcortex (VLFC) und wird in 3 Bereiche gegliedert – dem „pars opercularis“ (BA 44), dem „pars orbitalis“ und dem „pars triangularis“, der in der linken Hemisphäre dem Broca Areal entspricht. Vor allem an Prozessen der Verarbeitung emotionaler Gesichtsmimik ist der IFG immer wieder beteiligt (Van der Gaag, C., et al., 2007). Das BA 44 im Speziellen wird in Zusammenhang gebracht mit „adaptive emotional behavior“ (Lee et al., 2008) Empathie (Shamay-Tsoory et al., 2009) und Reaktionsinhibition (Schulz, K. P., et al., 2009). Letztere ist v.a. rechtshemisphärisch lokalisiert. Dabei sorgt ein frontotemporales Netzwerk dafür, dass die Verhaltensrelevanz evidenter Stimuli, sowohl emotional als auch kognitiv, kontextbezogen überprüft und zur situationsadäquaten Hemmung einer Reaktion herangezogen wird (Schulz, K. P., et al., 2009). Der IFG ist offenbar aber nicht nur Teil eines Verhaltenshemmnetzwerkes sondern zudem auch in ein Imitationsnetzwerk integriert, das zum MNS, dem „Mirror Neuron System“, gehört (Rizzolatti und Craighero 2004; Lee et al. 2006). Spiegelneurone sind eine Gruppe von Neuronenzellen, die immer dann feuern, wenn zielgerichtetes Verhalten, Bewegungen oder Gesichtsausdruck, beobachtet werden. Wie bereits erwähnt, findet man diese speziellen Neurone v.a. im IFG, aber auch im rostralen Teil des inferioren Parietallappens und im inferioren präzentralen Gyrus (Rizzolatti und Craighero 2004). Das „Perception - Action – Model“ („PAM“; Preston, S.D., De Waal, F.B., 2002) besagt, dass unter Beteiligung des MNS automatisch im Beobachter diejenigen sensomotorischen Areale aktiviert werden, die der beobachteten Bewegung bzw. dem Gesichtsausdruck, entsprechen. Dieses neuronale Muster geht dann in den motorischen Zentren in Reaktionsplanung und -durchführung mit ein. Das MNS hat

¹ Allerdings nur beim sLORETA Einzelvergleich „Angst – Heiterkeit“, nicht jedoch bei „Angst – Ekel“.

nun nicht nur bei motorischen Lernprozessen Bedeutung, sondern spielt auch eine Rolle in einem neueren neuropsychologischen Konzept – der Theory of Mind, oder kurz ToM. Sie beschreibt die Fähigkeit, Gedanken und Handlungsintentionen eines anderen antizipieren und erraten zu können. Verwandt, bzw. ein Teil des ToM-Konzeptes ist dabei die Empathie – das Mitfühlen mit anderen Personen. Um sich in jemand anderen hineinzuversetzen werden eigene interne affektive Repräsentationen aufgerufen. Je besser man es versteht diese emotionalen Repräsentationen zu verwenden, desto stärker scheint auch die Fähigkeit zur Empathie zu sein (Hooker, C., et al., 2008). Dabei lässt sich zwischen einer „emotionalen“ und „kognitiven“ Empathie unterscheiden, die auch unterschiedliche neuronanatomische Korrelate aufweisen (Shamay-Tsoory, S. G., et al., 2009). Während das kognitive Empathiesystem der Perspektivenübernahme in den BA 10 und 11 lokalisiert ist, findet man das phylogenetisch ältere System der „emotionalen Ansteckung“ (emotional contagion) im BA 44, dem pars opercularis des IFG. BA 44 könnte demnach an einer Art Emotions-Imitation beteiligt sein.

Mit der bewussten Empfindung von Emotionen wird die Insula, das zweite in der Bedingung „Angst“ stärker aktivierte Areal, in Verbindung gebracht. Der insuläre Cortex ist das Ziel interozeptiver Informationen aus dem gesamten Körper. Hier werden die Signale aus der Peripherie topographisch repräsentiert und über reziproke Verbindungen mit Kontextinformationen aus dem ACC (Fehlererkennung, Handlungswahl), der Amygdala (Stimulusrelevanz), dem Nucleus Accumbens (Belohnungsaspekte) und dem OFC (kontextabhängige Umweltevaluation) vernetzt (Paulus, M. P., Stein, M. B., 2009). Craig (2009) postuliert, dass es in der Insula und dem angrenzenden frontalen Operculum eine Art „Metarepräsentation“ des augenblicklichen emotionalen körperlichen Gesamtstatus gibt, der die Grundlage für die bewusste Empfindung dessen bildet. Jabbi et al. (2008) vermuten, dass Insula und das angrenzende frontale Operculum (IFO) generell an Emotionsprozessen beteiligt sind, während letztlich die Gesamterregung davon abhängt im Rahmen welchen neuronalen Netzwerkes, ausgehend von Stimulusmodalität, Kontext und Kognitionen, das gemeinsame Emotionsareal innerviert wird. Der Uncus (BA 38), der am temporalen Pol liegt und ebenfalls in der Angstbedingung stärker aktiviert wurde, leistet seinen Beitrag zum Emotionsegeschehen, indem er viszeral – emotionale Inputs mit komplexen, kognitiven Wahrnehmungsinhalten vernetzt (Ding, 2009).

Die beobachtete höhere Aktivität in den erwähnten Emotionszentren könnte ein Korrelat der psychophysiologischen Komponente von Angst sein. IFG und Insula scheinen dabei ein Emotionsnetzwerk zu bilden, das an der Wahrnehmung dieses Gefühls beteiligt sein könnte - der IFG (BA 44) im Rahmen seiner Rolle bei Prozessen der emotionalen Ansteckung, - gemeinsam mit der Insula als Ausgangsbasis für die Wahrnehmung des inneren Körperstatus inklusive Emotionen. Anscheinend lösten bei diesem Versuch die Angstreize, mehr als die Ekel- oder Heiterkeitsbedingung,

eine umfassendere bis in die Peripherie reichende Aktivierung aus. Grund dafür ist wahrscheinlich die größere Bedeutung von visuell dargebotenen Gefahrenreizen als ekelige oder gar lustige Bilder für den Organismus. Diese Annahme deckt sich mit Interpretationen früherer im BRL durchgeführter Emotionsuntersuchungen, bei denen die DC - Positivierungseffekte im Sinne einer Defensiv-Reaktion erklärt wurden (Gerstmayer, A., 1999). Eine Art „Kampf-Flucht-Reaktion“ auf angstinduzierende Stimuli sorgt dafür, dass Ressourcen in solche Areale umgeleitet werden, die mit sympathischer Aktivierung und defensivem Verhalten in Zusammenhang stehen (Wik et al., 1993). Sowohl Insula (interozeptiv; Paulus, Stein, 2009) als auch Uncus (viszeral; Ding, 2004) gelten als Integrationsstellen von Afferenzen aus dem Körper mit kognitiven Inhalten. Diese körperliche Feedback-Komponente der Angst könnte durchaus ihren „kortikalen“ Ausdruck in der verstärkten Erregung von Insula und Uncus in der Angstbedingung dieses Experiments finden. Damit im Einklang stehen auch Ergebnisse einer Studie von Paulus et al., 2006, in der Symptome von Angsterkrankungen mit einer Hyperaktivität der rechten Insula in Verbindung gebracht wurden. Die Beobachtung, dass sich die verschiedenen Emotionsbedingungen bezüglich der Potentialquellen gerade in Bereichen, die an der Informationsverarbeitung über innere Körperzustände beteiligt sind, unterscheiden, könnte zudem die Vermutung nahe legen, dass u. a. eine Differenzierung der emotionalen Zustände auch unter Beteiligung peripherer Rückmeldungen stattfindet – eine Art Etikettierung, wie sie etwa Damasio in seiner Hypothese der somatischen Marker annimmt. Es erscheint hingegen eher unwahrscheinlich, dass Insula und IFG nur spezifisch bei Angst erregt werden, zu viele Untersuchungen zeigen eine Aktivierung dieser Strukturen generell bei verschiedenen Emotionen. So wird die Emotion Ekel häufig mit der Insula in Verbindung gebracht und sogar angenehme Emotionen, v.a. Berührungsreize lösen eine Insulaaktivität aus (Bartels, Zeki, 2004). Möglicherweise werden diese Areale umso stärker in den Emotionsprozess miteinbezogen, je relevanter der Reiz ist, was zu mehr „Arousal“ und peripherer Beteiligung führt. Die Amygdala ist an und für sich die erste Instanz für eine schnelle Einschätzung des Reizes und sie projiziert u.a. zur Insula. Vielleicht geht die Aktivität in der Insula auch auf Projektionen der Amygdala zurück, die beim Beobachten der angstinduzierenden Filmsequenzen stärker als bei Ekel oder Heiterkeit innerviert wurde. Mit EEG oder sLORETA lässt sich aber eine vermutliche Amygdalaaktivität derart differenziert nicht beobachten, auf ihre Beteiligung an den gemessenen Ergebnissen kann daher nur indirekt geschlossen werden. Insofern lässt sich auch schwer sagen, ob eine Aktivierung der Amygdala rechts lateral in diesem Experiment der Erregung in Insula und IFG im Sinne der „low route“ von LeDoux vorangeht.

Jabbi et al., 2008, untersuchten in einer Studie ausschließlich die Emotion Ekel, welche auf drei verschiedene Arten induziert wurde – über Bilder, Geschichten oder Gerüche. Sie identifizierten das IFO (inferiores frontales Operculum; ROI umfasste Teile der anterioren Insula und dem angrenzenden

inferioren Operculum) als Schlüsselzentrum für die emotionale Empfindung auf Basis der Körperwahrnehmung. In allen drei Bedingungen (Beobachtung, Vorstellung, Erfahrung) wurde immer wieder diese Region erregt – unabhängig vom emotionalen Induzierungsverfahren. Dieses wiederum zeigte sich in den unterschiedlichen Netzwerken und Hirnregionen, mit denen das IFO modalitätsspezifisch korrespondierte. Beim Betrachten ekelverzerrter Gesichter war vor allem die Verbindung rechter IFG (BA 45) mit dem IFO auffällig. Die Aktivität im IFG schrieben die Autoren der Evaluation von Bewegungen der Gesichtsmuskulatur zu, die emotionale Bedeutung liefert ihrer Meinung nach die Insula. Im Experiment zu dieser Diplomarbeit waren es die Angstsequenzen und nicht die Ekelsequenzen, wie die Literatur vielleicht vermuten lassen würde, die mehr Aktivität in Insula und IFG auslösten. Eine mögliche Erklärung dafür lässt sich u. U. im vorgegebenen Itemmaterial finden. In den Filmsequenzen zur Angst waren bei dieser Untersuchung durchwegs immer angsterfüllte Gesichter in Großaufnahme zu sehen, während in den Filme zu den anderen Emotionen zwar auch Menschen vorkamen, ihr Gesichtsausdruck aber weit nicht so präsent wie in der Angstbedingung war. Sprache, Handlung oder Gegenstände nahmen in diesen Filmclips mehr Raum ein. Der Aufbau der Angstsequenzen war, trotz unterschiedlicher Inhalte, immer gleich: dramatische Musik und/oder gefährlich wirkende Geräusche, der angstausslösende Reiz (ein riesiger Hai, Spinnen, etc.) und ein Mensch, der in höchster Bedrängnis vor Angst oder Schmerzen schreit, was ausführlich inszeniert wurde, hingegen fanden wenig bis gar keine Dialoge statt. Wie bereits erwähnt wird der IFG immer wieder mit dem Deuten emotionaler Gesichtsmimik in Verbindung gebracht, vor allem, wenn es sich um das Erkennen von nicht eindeutigen Emotionen in Gesichtern handelt (Levens S.M., Phelps E.A., 2010). Auch im Uncus konnte verstärkte Aktivität beim Betrachten ängstlicher Gesichter von Radua et al., 2010, beobachtet werden. Die höhere Insula-, und IFG - Aktivität in diesem Experiment bei der Bedingung „Angst“ im Vergleich zu Heiterkeit und Ekel könnte daher auch mit dem Betrachten der ängstlichen Personen und schmerz erfüllten Gesichter einhergegangen sein als tatsächlich ein Korrelat von der Empfindung Angst an sich abzubilden. Shamay-Tsoory (2009) schreibt dem IFG (bzw. dem BA44) im Rahmen des MNS über Mimikimitation die Funktion der Emotionsübertragung zu. Um Emotionen im Gesicht eines anderen „lesen“ zu können, wird die Gesichtsmimik in den entsprechenden Gehirnarealen des Beobachters imitiert – über eine Aktivierung der Spiegelneurone im BA 44. Die Insula wiederum gehört auch zur sog. „pain matrix“ – einem Nervenzellnetzwerk, das nicht nur bei am eigenen Leib empfundenen Schmerz aktiv ist, sondern auch, wenn man beobachtet wie anderen Schmerzen zugefügt werden (Lamm, C. et al., 2007). Das interozeptive feedback aus der Peripherie an die Insula über den Körperzustand lässt einen „mitfühlen“. In den Sequenzen zur Angstbedingung konnten die Versuchspersonen sehr oft sehen, wie andere leiden mussten. Kurz gesagt – die beobachteten elektrophysiologischen Unterschiede zwischen der Angstbedingung und den übrigen

Emotionsbedingungen basieren möglicherweise nicht auf den verschiedenen Emotionen, sondern könnten auf ungewollte Unterschiede der dargebotenen Items (Gesichter ↔ allgemeine Szenen) zurückzuführen sein.

Nun ergaben sich die sLORETA - Unterschiede zwischen den verschiedenen Emotionsbedingungen dieses Diplomarbeitsexperiments ausschließlich in der rechten Hemisphäre¹. Nachdem der rechte präfrontale Cortex im Allgemeinen eher mit der Verarbeitung negativer Stimuli in Zusammenhang gebracht wird², erscheint die stärkere rechtsseitige Aktivität in der Angstbedingung schlüssig. Zudem wird explizit dem rechten anterioren insulären Cortex eine Schlüsselfunktion beim Empfinden des emotionalen Status zugeschrieben, was auch Gefühle miteinschließt, die durch die Interpretation interozeptiver Afferenzen entstanden sind (Critchley et al. 2004). Ein Hemisphäreneffekt zugunsten der rechten Seite bei emotionalen Prozessen wird in einer Hypothese von Heilman (2010) aufgrund der engeren Verbindung dieser Hälfte zu peripheren, autonomen und viszerale Systemen vermutet. Damit deckt sich die Beobachtung, dass sich die verschiedenen Emotionsbedingungen bezüglich der Potentialquellen gerade in Bereichen, die an der Informationsverarbeitung über Körperzustände beteiligt sind, unterscheiden.

Betont werden sollte an dieser Stelle, dass es sich hier um die sLORETA – Einzelvergleiche der drei Emotionen handelt. Angst geht im Vergleich zu Ekel und Heiterkeit mit einer höheren Aktivität in der rechten Hemisphäre in Insula, IFG und Uncus einher, was nicht bedeutet, dass bei dieser Untersuchung in der Bedingung Angst generell die rechte Hemisphäre stärker als die linke Hemisphäre aktiviert wurde, also ein intra-emotionaler Hemisphäreneffekt zu erkennen war. Tatsächlich ließ sich inferenzstatistisch zwar ein Hemisphäreneffekt bei Angst feststellen, allerdings okzipital. Der linke okzipito-temporale Bereich (an der Elektrode O7) wies durchgehend eine höhere Negativierung als der rechte auf. Bei Ekel gab es überhaupt keine Bevorzugung einer Hemisphäre. Nur in der „heiteren“ Bedingung konnte annähernd ein „emotionaler“ Lateralisationseffekt gefunden werden – mit einem kleinen Schönheitsfehler: der linke FC zeigte eine stärkere Positivierung als der rechte FC. In vorangegangenen Arbeiten zu DC-Potentialen und emotionalen Reizen im BRL konnten hingegen immer rechtsseitig stärkere Positivierungen in Emotionsbedingungen (positive wie negative) beobachtet werden (Kaluschk, 1999; Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000). Gründe für diese Nicht-Übereinstimmung könnten die Wahl eines späteren Beobachtungsintervalles (ab 10 sec nach Stimulusbeginn) und/oder das unterschiedliche Reizmaterial sein. Waren in den früheren Studien statische Bilder zum Einsatz gekommen, so stellen Filmsequenzen doch einen weitaus umfangreicheren Stimulus dar. Feyereisen (nach Springer, Deutsch, 1998) vermutet, dass parallele kognitive Prozesse die Hemisphärenlateralität

¹ Zwischen Heiterkeit und Ekel waren signifikante sLORETA – Unterschiede ebenfalls nur rechtshemisphärisch lokalisiert, wobei bei Ekel im mittleren frontalen Gyrus (BA 8) und im Gyrus Cinguli (BA 32) mehr Aktivität zu beobachten war. Inferenzstatistisch ergaben sich bei den Varianzanalysen allerdings keine Unterschiede zwischen Heiterkeit und Ekel.

² Das negative Vermeidungssystem geht mit einer stärkeren Aktivität der rechten Hemisphäre einher (Davidson, 1998).

bei Emotionen beeinflussen. Die notwendigen Informationsverarbeitungsprozesse beim Beobachten der Filmsequenzen könnten demnach zu einer Veränderung der sonst auftretenden emotionalen Hemisphärenlateralisierung geführt haben. Die Annahme, dass es generell eine rechtsseitige Hemisphärenspezialisierung bei emotionalen Prozessen gibt, wird außerdem durch viele Untersuchungen nicht gestützt, in welchen kein derartiger Effekt nachgewiesen werden konnte (Wager et al., 2002; Murphy et al., 2003).

In allen Bedingungen (sowohl bei den Subtraktionsdaten, als auch den „Rohdaten“ samt Neutralbedingung) konnte mittels sLORETA als DC-Generatorquelle bilateral das frontopolare BA 10 identifiziert werden. Die Aktivität in diesem Areal scheint also im Allgemeinen, unabhängig von Inhalt und Emotionen, mit dem Betrachten von Filmsequenzen zusammenzuhängen. Der PFC gilt ja schlechthin als „das“ Zentrum für gerichtete Aufmerksamkeit und exekutiver Funktionen. Dabei ist es ein neuronales Netzwerk ausgehend vom PFC, dass selektiv bestimmte Bahnen und Ressourcen aktiviert oder deaktiviert, um die Aufmerksamkeit auf den im Moment wichtigen Reiz zu lenken und aufrechtzuerhalten (Stichwort - „thalamo-cortikales gating“). Das BA 10 oder der Gyrus frontomedialis fungiert dabei als ein höheres kognitives Integrationsszentrum. Hier werden Informationen aus verschiedenen Bereichen des Gehirns zusammengeführt, wobei diese Verknüpfung von Teilinformationen noch spezifisch, ähnlich ersten Reizverarbeitungsschritten, erfolgt und nicht holistisch integrierend, wie wahrscheinlich im ACC. Das meinen zumindest Talati und Hirsch (2006), die feststellen konnten, dass im BA 10 Teilinformationen zwar verbunden werden, dies aber, entsprechend der Aufgabenstellung, lateralisiert¹ passiert. Die verstärkte Aktivierung dieser Integrationsregion beim Betrachten von Filmsequenzen, was eine Vielzahl an komplexen kognitiv - emotionalen Informationsverarbeitungsschritten zur vollständigen Erfassung einer Szene erfordert, erscheint plausibel. Eine verstärkte Aktivität bzw. vermutete stärkere DC-Positivierung in präfrontalen Regionen speziell bei den emotionalen Filmen im Gegensatz zu den neutralen Sequenzen konnte hingegen in dieser Untersuchung nicht gefunden werden.

Ein Geschlechtsunterschied hinsichtlich der elektrokortikalen Verarbeitung emotionaler Sequenzen konnte zwar ebenfalls nicht gezeigt werden, interessant ist dabei aber, dass sich die subjektiven, emotionalen Intensitätsratings zu den Filmausschnitten von Frauen und Männern sehr wohl signifikant unterschieden. Frauen empfanden bei allen Filmen (mit Ausnahme der neutralen) stärkere Emotionen. Zudem erlebten sie die Sequenzen mit negativer Valenz als besonders intensiv, während Männer die heiteren Filme am emotionalsten beurteilten. Dieser deutliche subjektive Empfindungsunterschied spiegelte sich aber nicht in den objektiven Daten der elektrokortikalen Potentialverteilungen wieder. Hier konnten keine statistisch signifikanten Geschlechtsunterschiede nachgewiesen werden. In zwei Studien

¹ Bei Aufgaben zu „WO“ kam es präfrontal im BA 10 rechts zu mehr Aktivität, hingegen bei Aufgaben zu „WIE“ oder „WANN“ erwartungsgemäß links.

(2002 und 2005) von Schirmer et al., zeigte sich, dass ursprüngliche Geschlechtereffekte bei der Latenz der N400 bei Verarbeitung von Sprachmelodie und Wortvalenz verschwanden, wenn die Aufmerksamkeit bewusst auf die (Nicht-) Übereinstimmung von Prosodie und Wortbedeutung gelenkt wurde. Im Experiment zu dieser Diplomarbeit wurden die Vp dazu angehalten bewusst die durch den Film induzierte Emotion (oder Nichtemotion) wahrzunehmen und anschließend zu notieren. Ob sich allerdings tatsächlich eher DC-topographische Unterschiede zwischen den Geschlechtern gezeigt hätten, wenn die Aufgabe schlicht aus Betrachten und nicht Einstufen der erlebten Emotion bestanden hätten, ist lediglich vage Spekulation. Möglich wäre es aber, dass die zum Erfassen der Filmsequenzen nötigen kognitiven Prozesse eventuelle Geschlechtsunterschiede der parallel ablaufenden Emotionsprozesse überdecken. Zudem könnten die Differenzen auch in Arealen aufgetreten sein, die mit EEG/sLORETA nicht erfassbar waren – zumindest nicht anhand des verwendeten 22-Elektroden Settings – wie bereits erwähnt, steigt die Schätzgenauigkeit mit der Anzahl der Elektroden. Mehr Ableitungsorte hätten möglicherweise elektrokortikale Geschlechtsunterschiede eher erfasst. Auch das SEA – Verfahren, das zum Averagen verwendet wurde, könnte Einfluss gehabt haben, wenn sich Geschlechtsunterschiede nicht nur auf der räumlichen sondern auch (oder im Besonderen) auf der zeitlichen Ebene ausdrücken.

Die Unterschiede der subjektiven Intensitätsratings sind dafür umso deutlicher. Vielleicht liegen die Verschiedenheiten von Frauen und Männern bei umfangreicheren emotionalen Stimuli nicht so sehr bei Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozessen, sondern bei Erinnerungs- und Bewertungsprozessen. Das heißt, der Unterschied ergibt sich nicht beim Betrachten und „Fühlen“ der Filmsequenz, sondern erst später beim nachträglichen Reflektieren des Gesehenen und dessen persönlicher Bedeutung. Canli et al. (2003), konnten in einer Untersuchung zeigen, dass bei Frauen eine größere Vernetzung zwischen Strukturen die aktuelle emotionale Prozesse verarbeiten und Gedächtnisarealen stattfindet. Diese späteren Prozesse werden nicht nur durch den Reiz selbst, sondern auch durch den augenblicklichen situativen Kontext, persönliche Erfahrungen, Erinnerungen, momentane physische wie psychische Verfassung und Persönlichkeitseigenschaften beeinflusst. Das Rollenverhalten der Geschlechter stellt dabei ebenfalls einen wichtigen Aspekt (vor allem beim Bewerten von erlebten Emotionen) dar. Auch wenn ich meinen männlichen Versuchspersonen jetzt nichts direkt unterstellen will, aber ein Großteil der Männer würde, bewusst oder unbewusst, eher nicht zugeben bei einem Film große Angst gehabt zu haben. Insofern scheint es denkbar, dass die subjektiven Bewertungsskalen durch einen Geschlechterrollen-Effekt konfundiert sein könnten. Frauen gaben auch an während der Angstbedingung die stärksten Emotionen verspürt zu haben, während Männer die größten Emotionen subjektiv bei den Heiterkeitssequenzen erlebten - was für einen Geschlechterrolleneffekt sprechen könnte.

Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit deuten darauf hin, dass die Verarbeitung angstinduzierender Filmsequenzen, eine intensivere Verarbeitung nach sich ziehen als Ekel- und Heiterkeitsfilme. Eine stärkere Aktivierung konnte in Insula, IFG und Uncus gefunden werden. Alle drei Hirngebiete gelten als Bestandteile von Emotionsprozessen wie Empathie oder deren bewusster Wahrnehmung und sind Integrationsstellen interozeptiven und viszerale Körperfeedbacks mit kognitiven Inhalten.

Die verstärkte Erregung von IFG und Insula rechts lateral, könnte aber auch durch Eigenheiten des vorgegebenen Filmmaterials entstanden sein. Bei Verwendung von Filmsequenzen als Itemmaterial bei künftigen, ähnlichen Untersuchungen sollte daher Sorge getragen werden, dass der Inhalt der Clips formal, d.h. was Gegenstände, Menschen oder Gesichter angeht, möglichst angeglichen wird. Schon verschiedene Tempi oder Rhythmen der Schnittfolgen, können zu Unterschieden der EDA (siehe Kap. 10.4.1., Seite 73) führen. Eine bessere Durchmischung der Sequenzen bezüglich erwähnter Inhalte wäre ebenso zielführend. In jeder Kategorie sollte idealerweise alles vorkommen, zu vermeiden wäre eben, dass es in einer Bedingung zu einer übermäßigen Darstellung einer Komponente bspw., wie leider hier geschehen, von Gesichtern kommt.

In Bezug auf Filmsequenzen ist die Methode der besseren Durchmischung im Gegensatz zur Homogenisierung der Filme eher realisierbar. Ebenso müssten mehr Filmsequenzen pro Bedingung erstellt werden. Im Hinblick auf eine Darstellung der Entwicklung von DC-Topographien im Laufe anhaltender emotionaler Stimulierung, wäre es von Vorteil gewesen, auch die genaue zeitliche Auflösung der DC-Potentialverteilungen zur Verfügung gehabt zu haben. Außerdem gibt es Hinweise aus der Literatur, dass sich verschiedene Emotionen nicht unbedingt hinsichtlich beteiligter Strukturen sondern mehr aufgrund der zeitlichen Abfolge der Erregung dieser Strukturen unterscheiden (Esslen et al., 2004) könnten. Vielleicht hätte man sich auf zwei Emotionsbedingungen zugunsten ausreichend vieler Filme für jede Kategorie, beschränken sollen. Die Vorgabe von neutralen Sequenzen erscheint dagegen notwendig wegen der komplexen kognitiven Informationsverarbeitungsvorgänge beim Betrachten der Filme, die mögliche emotionale Prozesse überlagern und so „unsichtbar“ für die DC-Registrierung machen. Einzig sollten auch hier mehr Sequenzen und vor allem dem übrigen Reizmaterial angepasste neutrale Filmclips (siehe S. 122) gewählt werden. Zudem müssten alle Sequenzen in einer Voruntersuchung validiert werden. Mit Hilfe von Filmen lassen sich sicher ganz gut Emotionen auslösen, allerdings wären dazu sorgfältig ausgewählte, ausdrucksstarke (ebenfalls vorvalidierte) Fotos wohl auch in der Lage. Darüberhinaus stellen sie ein Stimulusmaterial dar, das gegenüber Konfundierungen widerstandsfähiger ist. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, dass bei Untersuchungen zu Emotionsprozessen genau getrennt werden sollte zwischen einer Emotionsauslösung anhand von aversivem Bildmaterial oder durch Mimikphotos, was generell Prozesse zu sozialer Emotion oder Empathie reflektiert. Da die genauen neuronalen Prozesse und

Netzwerke rund um menschliche Emotionen noch nicht klar sind, wäre es im Sinne einer akuraten Interpretation angeraten das Stimulusmaterial möglichst einfach zu halten, um nicht noch mehr Verwirrung in einen ohnhin schon komplizierten Sachverhalt zu bringen. Unterstützend könnte man zusätzliche peripher-physiologische Variablen wie Muskelanspannung, EKG oder EDA messen. Derartige Daten könnten Aufschluss geben über das Arousalpotential einer Filmsequenz. Gleichzeitig hätten sie schon bei der Interpretation der Ergebnisse dieses Experimentes wichtige Anhaltspunkte liefern können. Die Annahme, dass die rechtsseitige Insula-, IFG-, und Uncusaktivität eine umfassendere periphere Aktivierung reflektiert, hätte mehr Gewicht, wenn zusätzliche psychophysiologische Messungen ebenfalls darauf hindeuteten.¹ Bei vorvalidierten Filmen könnte man gar gänzlich auf die subjektive Befragung zugunsten objektiver psychophysiologischer Daten verzichten. Gleichwohl wäre es ein interessanter Aspekt objektive und subjektive Messergebnisse in Beziehung zueinander zu setzen. Gerade was die signifikanten subjektiven Bewertungsunterschiede von Männern und Frauen betrifft, könnten zusätzlich erhobene Messdaten, auch bezüglich eines Geschlechterrolleneffektes, vielleicht ein wenig mehr Klarheit verschaffen. Generell erscheint es eher unwahrscheinlich, dass sich dieser ziemlich deutliche Geschlechtsunterschied nicht auch hirnpysiologisch widerspiegeln sollte. Die Ursachen dafür liegen wohl eher im Versuchsdesign – aus bereits erwähnten Gründen. Eine mögliche Folgeuntersuchung zu dieser Thematik könnte, unter Berücksichtigung aller verbesserungswürdiger Punkte, vielleicht zusätzliche Anhaltspunkte liefern, welche Rollen Insula und IFG im Rahmen emotionaler Prozesse spielen.

¹ Oder auch nicht – aber selbst das hilft beim Interpretieren oder Formulieren einer alternativen Erklärung.

Literatur:

Adolphs R, Damasio H, Tranel D, Damasio AR., "Cortical systems for the recognition of emotion in facial expressions." *J Neurosci.* 1996 Dec 1;16(23):7678-87.

Aftanas LI, Golocheikine SA., " Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation." *Neurosci Lett.* 2001 Sep 7;310(1):57-60.

Aftanas LI, Reva NV, Savotina LN, Makhnev VP., Neurophysiological correlates of induced discrete emotions in humans: an individually oriented analysis. *Neurosci Behav Physiol.* 2006 Feb;36(2):119-30.

Aharon I, Etcoff N, Ariely D, Chabris CF, O'Connor E, Breiter HC. "Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence." *Neuron.* 2001 Nov 8;32(3):537-51.

Allen JJ, Harmon-Jones E, Cavender JH., „Manipulation of frontal EEG asymmetry through biofeedback alters self-reported emotional responses and facial EMG." *Psychophysiology.* 2001 Jul;38(4):685-93.

Armony, JL., LeDoux, JE., "How the brain processes emotional information". *Ann N Y Acad Sci.*, 1997; Jun 21;821:259-70. Review.

Armony, JL., Servan-Schreiber, D., Romanski, LM., Cohen, JD., LeDoux, JE., "Stimulus generalization of fear responses: effects of auditory cortex lesions in a computational model and in rats". *Cereb. Cortex*, 1997; Mar;7(2):157-65.

Bandler R, Keay KA, Floyd N, Price J., "Central circuits mediating patterned autonomic activity during active vs. passive emotional coping." *Brain Res Bull.* 2000 Sep 1;53(1):95-104. Review.

Barbas H., "Connections underlying the synthesis of cognition, memory, and emotion in primate prefrontal cortices." *Brain Res Bull.* 2000 Jul 15;52(5):319-30. Review.

Barbas H., "Flow of information for emotions through temporal and orbitofrontal pathways." *J Anat.* 2007 Aug;211(2):237-49.

Bartels A, Zeki S., "The neural correlates of maternal and romantic love." *Neuroimage.* 2004 Mar;21(3):1155-66.

Beauregard M, Lévesque J, Bourgouin P., "Neural correlates of conscious self-regulation of emotion." *J Neurosci.* 2001 Sep 15;21(18):RC165.

Bechara A, Tranel D, Damasio H, Damasio AR., "Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex." *Cereb Cortex.* 1996 Mar-Apr;6(2):215-25.

Bechara A, Damasio H, Damasio AR, Lee GP., "Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making." *J Neurosci.* 1999 Jul 1;19(13):5473-81.

Birbaumer N, Schmidt RF, „Biologische Psychologie.", 2000. Heidelberg: Springer. (4. Auflage)

Blair, HT., Schafe, GE., Bauer EP., Rodrigues SM., " Synaptic plasticity in the lateral amygdala: a cellular hypothesis of fear conditioning". *Learn Mem.*, 2001, Sep-Oct;8(5):229-42.

Blum K, Braverman ER, Holder JM, Lubar JF, Monastra VJ, Miller D, Lubar JO, Chen TJ, Comings DE. „Reward deficiency syndrome: a biogenetic model for the diagnosis and treatment of impulsive, addictive, and compulsive behaviors.“ *J Psychoactive Drugs*. 2000 Nov;32 Suppl:i-iv, 1-112. Review.

Botvinick MM. “Conflict monitoring and decision making: reconciling two perspectives on anterior cingulate function.“ *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2007 Dec;7(4):356-66. Review.

Bowers D, Bauer RM, Coslett HB, Heilman KM., „Processing of faces by patients with unilateral hemisphere lesions. I. Dissociation between judgments of facial affect and facial identity.“ *Brain Cogn*. 1985 Jul;4(3):258-72.

Cahill L, Uncapher M, Kilpatrick L, Alkire MT, Turner J., “Sex-related hemispheric lateralization of amygdala function in emotionally influenced memory: an fMRI investigation.“ *Learn Mem*. 2004 May-Jun;11(3):261-6.

Calder AJ, Beaver JD, Davis MH, van Ditzhuijzen J, Keane J, Lawrence AD., “Disgust sensitivity predicts the insula and pallidal response to pictures of disgusting foods“. *Eur J Neurosci*. 2007 Jun;25(11):3422-8

Calder AJ, Keane J, Manes F, Antoun N, Young AW. “Impaired recognition and experience of disgust following brain injury.“ *Nat Neurosci*. 2000 Nov;3(11):1077-8.

Canli T, Desmond JE, Zhao Z, Gabrieli JD., „Sex differences in the neural basis of emotional memories.“ *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2002 Aug 6;99(16):10789-94.

Carretié L, Hinojosa JA, Martín-Loeches M, Mercado F, Tapia M. Automatic attention to emotional stimuli: neural correlates. *Hum Brain Mapp*. 2004 Aug;22(4):290-9.

Carretié L, Martín-Loeches M, Hinojosa JA, Mercado F., “Emotion and attention interaction studied through event-related potentials“. *J Cogn Neurosci*. 2001 Nov 15;13(8):1109-28.

Clugnet MC, LeDoux JE., „Synaptic plasticity in fear conditioning circuits: induction of LTP in the lateral nucleus of the amygdala by stimulation of the medial geniculate body.“ *J Neurosci*. 1990 Aug;10(8):2818-24.

Cooney RE, Joormann J, Atlas LY, Eugène F, Gotlib IH. “Remembering the good times: neural correlates of affect regulation.“ *Neuroreport*. 2007 Nov 19;18(17):1771-4.

Craig AD. “How do you feel...now? The anterior insula and human awareness.“ *Nat Rev Neurosci*. 2009 Jan;10(1):59-70.

Crespo-Facorro B, Paradiso S, Andreasen NC, O'Leary DS, Watkins GL, Ponto LL, Hichwa RD., “Neural mechanisms of anhedonia in schizophrenia: a PET study of response to unpleasant and pleasant odors.“ *JAMA*. 2001 Jul 25;286(4):427-35.

Critchley HD. „The human cortex responds to an interoceptive challenge.“ *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004 Apr 27;101(17):6333-4.

Cuthbert BN, Schupp HT, Bradley MM, Birbaumer N, Lang PJ., “Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report.“ *Biol Psychol*. 2000 Mar;52(2):95-111.

D'Argembeau A, Ruby P, Collette F, Degueldre C, Baeteau E, Luxen A, Maquet P, Salmon E. “Distinct regions of the medial prefrontal cortex are associated with self-referential processing and perspective taking.“ *J Cogn Neurosci*. 2007 Jun;19(6):935-44.

Damasio, AR. „Descartes' Irrtum: Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn.“ 3. Auflage 1994, 1997. List Verlag München Leipzig.

Davidson RJ, Ekman P, Saron CD, Senulis JA, Friesen WV., „Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology. I.“ J Pers Soc Psychol. 1990 Feb;58(2):330-41.

Davidson RJ. „Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: conceptual and methodological conundrums.” Psychophysiology. 1998 Sep;35(5):607-14.

Davidson RJ, Irwin W., “The functional neuroanatomy of emotion and affective style”, Trends Cogn Sci. 1999 Jan;3(1):11-21.

De Pascalis V, Ray WJ, Tranquillo I, D'Amico D., “EEG activity and heart rate during recall of emotional events in hypnosis: relationships with hypnotizability and suggestibility.” Int J Psychophysiol. 1998 Aug;29(3):255-75.

Devinsky O, Morrell MJ, Vogt BA., “Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour.” Brain. 1995 Feb;118 (Pt 1):279-306.

Diedrich, O., Naumann, E., Maier, S., Becker, G., & Bartussek. A frontal positive Slow Wave in the ERP associated with emotional slides. Journal of Psychophysiology, (1997) 11, 71-84.

Dilger S, Straube T, Mentzel HJ, Fitzek C, Reichenbach JR, Hecht H, Krieschel S, Gutberlet I, Miltner WH., „Brain activation to phobia-related pictures in spider phobic humans: an event-related functional magnetic resonance imaging study“. Neurosci Lett. 2003 Sep 4;348(1):29-32.

Ding SL, Van Hoesen GW, Cassell MD, Poremba A. “Parcellation of human temporal polar cortex: a combined analysis of multiple cytoarchitectonic, chemoarchitectonic, and pathological markers.” J Comp Neurol. 2009 Jun 20;514(6):595-623.

Dimpfel W, Wedekind W, Keplinger I., „Gender difference in electrical brain activity during presentation of various film excerpts with different emotional content.” Eur J Med Res. 2003 May 30;8(5):192-8.

Edeline JM, Weinberger NM., „Associative retuning in the thalamic source of input to the amygdala and auditory cortex: receptive field plasticity in the medial division of the medial geniculate body.“ Behav Neurosci. 1992 Feb;106(1):81-105.

Edeline JM, Pham P, Weinberger NM., „Rapid development of learning-induced receptive field plasticity in the auditory cortex.“ Behav Neurosci. 1993 Aug;107(4):539-51.

Ekman, Paul (Ed); Davidson, Richard J. (Ed), “The nature of emotion: Fundamental questions. Series in affective science”, New York, NY, US: Oxford University Press. (1994).

Elliott R, Dolan RJ, Frith CD., “Dissociable functions in the medial and lateral orbitofrontal cortex: evidence from human neuroimaging studies.” Cereb Cortex. 2000 Mar;10(3):308-17.

Esslen M, Pascual-Marqui RD, Hell D, Kochi K, Lehmann D., “Brain areas and time course of emotional processing”. Neuroimage. 2004 Apr;21(4):1189-203.

Euler, H. & Mandl, H (1983) Emotionspsychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen. Weinheim: Beltz

Falkai P, Bogerts B, Rozumek M., “ Limbic pathology in schizophrenia: the entorhinal region--a morphometric study.“ Biol Psychiatry. 1988 Sep;24(5):515-21.

- Fischer H, Sandblom J, Nyberg L, Herlitz A, Bäckman L. Brain activation while forming memories of fearful and neutral faces in women and men. *Emotion*. 2007 Nov;7(4):767-73.
- Foland LC, Altshuler LL, Bookheimer SY, Eisenberger N, Townsend J, Thompson PM. "Evidence for deficient modulation of amygdala response by prefrontal cortex in bipolar mania." *Psychiatry Res*. 2008 Jan 15;162(1):27-37.
- Fredrikson M, Fischer H, Wik G., „Cerebral blood flow during anxiety provocation.“ *J Clin Psychiatry*. 1997;58 Suppl 16:16-21. Review
- Fredrikson M, Wik G, Annas P, Ericson K, Stone-Elander S., „Functional neuroanatomy of visually elicited simple phobic fear: additional data and theoretical analysis.“ *Psychophysiology*. 1995 Jan;32(1):43-8.
- Fretska, EM, „Die Auswirkung von Kontrollverlust auf kortikale und kardiovaskuläre Aktivierung.“ 1997, Wien, Univ., Dipl.-Arb.
- Fretska E, Bauer H, Leodolter M, Leodolter U., "Loss of control and negative emotions: a cortical slow potential topography study". *Int J Psychophysiol*. 1999 Aug;33(2):127-41.
- Gabriel M, Kubota Y, Sparenborg S, Straube K, Vogt BA., „Effects of cingulate cortical lesions on avoidance learning and training-induced unit activity in rabbits.“ *Exp Brain Res*. 1991;86(3):585-600.
- Gainotti, G. (1989). "Disorders of Emotions and Affect in Patients with Unilateral Brain Damage". In Boller, F. & Grafman, J. (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 3), pp. 345-361. Amsterdam: Elsevier.
- Gardner EL, Vorel SR., „Cannabinoid transmission and reward-related events.“ *Neurobiol Dis*. 1998 Dec;5(6 Pt B):502-33.
- Gasbarri A, Arnone B, Pompili A, Marchetti A, Pacitti F, Calil SS, Pacitti C, Tavares MC, Tomaz C., "Sex-related lateralized effect of emotional content on declarative memory: an event related potential study." *Behav Brain Res*. 2006 Apr 3;168(2):177-84.
- Gasbarri A, Arnone B, Pompili A, Pacitti F, Pacitti C, Cahill L., "Sex-related hemispheric lateralization of electrical potentials evoked by arousing negative stimuli." *Brain Res*. 2007 Mar 23;1138:178-86.
- George MS, Ketter TA, Parekh PI, Horwitz B, Herscovitch P, Post RM., "Brain activity during transient sadness and happiness in healthy women." *Am J Psychiatry*. 1995 Mar;152(3):341-51.
- Gerstmayer, A., "Die kortikale Verarbeitung aversiver und potentiell phobischer visueller Reize - eine Untersuchung mittels DC-EEG". 2000, Wien, Univ., Dipl.-Arb.
- Goldin PR, Hutcherson CA, Ochsner KN, Glover GH, Gabrieli JD, Gross JJ. "The neural bases of amusement and sadness: a comparison of block contrast and subject-specific emotion intensity regression approaches". *Neuroimage*. 2005 Aug 1;27(1):26-36.
- Gorno-Tempini ML, Pradelli S, Serafini M, Pagnoni G, Baraldi P, Porro C, Nicoletti R, Umità C, Nichelli P. "Explicit and incidental facial expression processing: an fMRI study." *Neuroimage*. 2001 Aug;14(2):465-73.
- Güntekin B, Başar E., "Gender differences influence brain's beta oscillatory responses in recognition of facial expressions." *Neurosci Lett*. 2007 Sep 7;424(2):94-9.

- Hasson U, Nir Y, Levy I, Fuhrmann G, Malach R. "Intersubject synchronization of cortical activity during natural vision." *Science*. 2004 Mar 12;303(5664):1634-40.
- Hatfield, E.; Cacioppo, J. T.; Rapson, R. L.: "Primitive Emotional Contagion", in: Clark, M. S. (Hrsg.): *Review of Personality and Social Psychology*: Bd. 14 Emotions and Social Behavior, Newbury Park 1992, S. 151-177.
- Heilman RM, Crişan LG, Houser D, Miclea M, Miu AC. "Emotion regulation and decision making under risk and uncertainty." *Emotion*. 2010 Apr;10(2):257-65.
- Hofbauer, S., „Stroop Interferenz und DC-Potentiale - cerebrale Lokalisation und differentialpsychologische Unterschiede der auftretenden Interferenz bei Stroop-Test-Aufgaben.“ 1998, Wien, Univ., Dipl.-Arb.
- Hofer A, Siedentopf CM, Ischebeck A, Rettenbacher MA, Verius M, Felber S, Wolfgang Fleischhacker W. Sex differences in brain activation patterns during processing of positively and negatively valenced emotional words. *Psychol Med*. 2007 Jan;37(1):109-19.
- Hooker CI, Verosky SC, Germine LT, Knight RT, D'Esposito M. "Mentalizing about emotion and its relationship to empathy." *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2008 Sep;3(3):204-17.
- Inoue M, Mikami A. „Top-down signal of retrieved information from prefrontal to inferior temporal cortices." *J Neurophysiol*. 2007 Oct;98(4):1965-74.
- Izard, C.E. „Die Emotionen des Menschen. Eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie.“ 1994. (Zweite Auflage) Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Izard CE. „Emotion theory and research: highlights, unanswered questions, and emerging issues." *Annu Rev Psychol*. 2009;60:1-25.
- Jabbi M, Bastiaansen J, Keysers C. „A common anterior insula representation of disgust observation, experience and imagination shows divergent functional connectivity pathways." *PLoS One*. 2008 Aug 13;3(8):e2939.
- Jabbi M, Keysers C. "Inferior frontal gyrus activity triggers anterior insula response to emotional facial expressions." *Emotion*. 2008 Dec;8(6):775-80.
- Jausovec N, Jausovec K., "Sex differences in brain activity related to general and emotional intelligence." *Brain Cogn*. 2005 Dec;59(3):277-86.
- Junghöfer M, Bradley MM, Elbert TR, Lang PJ., „Fleeting images: a new look at early emotion discrimination." *Psychophysiology*. 2001 Mar;38(2):175-8.
- Kalusch-Klug, I., „Emotionale Grundstimmung und corticale Aktivität.“ 1999, Wien, Univ., Diss.
- Kayser J, Tenke C, Nordby H, Hammerborg D, Hugdahl K, Erdmann G., "Event-related potential (ERP) asymmetries to emotional stimuli in a visual half-field paradigm." *Psychophysiology*. 1997 Jul;34(4):414-26.
- Killgore WD, Oki M, Yurgelun-Todd DA., „Sex-specific developmental changes in amygdala responses to affective faces." *Neuroreport*. 2001 Feb 12;12(2):427-33.
- Killgore WD, Yurgelun-Todd DA., „Sex-related developmental differences in the lateralized activation of the prefrontal cortex and amygdala during perception of facial affect." *Percept Mot Skills*. 2004 Oct;99(2):371-91.

- Kiss M, Eimer M. ERPs reveal subliminal processing of fearful faces. *Psychophysiology*. 2008 Mar;45(2):318-26.
- Koch K, Pauly K, Kellermann T, Seiferth NY, Reske M, Backes V, Stöcker T, Shah NJ, Amunts K, Kircher T, Schneider F, Habel U. Gender differences in the cognitive control of emotion: An fMRI study. *Neuropsychologia*. 2007 Sep 20;45(12):2744-54.
- Kolassa IT, Musial F, Kolassa S, Miltner WH. „Event-related potentials when identifying or color-naming threatening schematic stimuli in spider phobic and non-phobic individuals.” *BMC Psychiatry*. 2006 Sep 18;6:38.
- Kostandov EA, Arzumanov YuL. „The influence of subliminal emotional words on functional hemispheric asymmetry.” *Int J Psychophysiol*. 1986 Jul;4(2):143-7.
- Krimm, Barbara, „Erziehung und die Vernunft der Gefühle: Gefühlserziehung - Möglichkeit, Notwendigkeit, Relevanz?“ 2002, Dissertation, Gerhard-Mercator-Universität-Gesamthochschule Duisburg.
- Kring AM, Gordon AH. „Sex differences in emotion: expression, experience, and physiology.” *J Pers Soc Psychol*. 1998 Mar;74(3):686-703.
- Lamm, C., „Raumvorstellungstraining & langsame ereigniskorrelierte Potentiale - eine Untersuchung von Trainingseffekten auf DC-EEG-derivierte corticale Aktivitätsmaße unter Einsatz rasch-homogenen Stimulansmaterials.“ 1996. Wien, Univ., Dipl.-Arb.
- Lamm C, Nusbaum HC, Meltzoff AN, Decety J. „What are you feeling? Using functional magnetic resonance imaging to assess the modulation of sensory and affective responses during empathy for pain.“ *PLoS One*. 2007 Dec 12;2(12):e1292.
- Lane RD, Fink GR, Chau PM, Dolan RJ. „Neural activation during selective attention to subjective emotional responses.” *Neuroreport*. 1997 Dec 22;8(18):3969-72
- Lang PJ, Bradley MM, Fitzsimmons JR, Cuthbert BN, Scott JD, Moulder B, Nangia V. „Emotional arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis.“ *Psychophysiology*. 1998 Mar;35(2):199-210.
- LeDoux, J. „Emotion: clues from the brain”. *Annu Rev Psychol.*, 1995;46:209-35. Review.
- LeDoux, J. „The emotional brain, fear, and the amygdala”; *Cell Mol Neurobiol.*, 2003; Oct;23(4-5):727-38.
- LeDoux, J. „Emotion circuits in the brain”; *Annu Rev Neurosci.*, 2000; 23:155-84. Review.
- LeDoux J, Farb CR, Romanski LM. „Overlapping projections to the amygdala and striatum from auditory processing areas of the thalamus and cortex.“ *Neurosci Lett*. 1991 Dec 16;134(1):139-44.
- Lee TW, Dolan RJ, Critchley HD. „Controlling emotional expression: behavioral and neural correlates of nonimitative emotional responses.“ *Cereb Cortex*. 2008 Jan;18(1):104-13.
- Levens SM, Phelps EA „Insula and orbital frontal cortex activity underlying emotion interference resolution in working memory.” *J Cogn Neurosci*. 2010 Dec;22(12):2790-803.

- Leventhal, H. (1970). "Findings and theory in the study of fear communications". In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (vol.3, pp. 119-186). New York: Academic Press.
- Liberzon I, King AP, Britton JC, Phan KL, Abelson JL, Taylor SF., "Paralimbic and medial prefrontal cortical involvement in neuroendocrine responses to traumatic stimuli". *Am J Psychiatry*. 2007 Aug;164(8):1250-8.
- Lotze M, Veit R, Anders S, Birbaumer N. „Evidence for a different role of the ventral and dorsal medial prefrontal cortex for social reactive aggression: An interactive fMRI study.“ *Neuroimage*. 2007 Jan 1;34(1):470-8.
- Lyons, W., "An Introduction to the Philosophy of the Emotions". *Int Rev of Studies on Emotion*. 1992, Vol. 2, 295-313.
- Mackiewicz KL, Sarinopoulos I, Cleven KL, Nitschke JB., "The effect of anticipation and the specificity of sex differences for amygdala and hippocampus function in emotional memory." *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006 Sep 19;103(38):14200-5.
- Maratos EJ, Dolan RJ, Morris JS, Henson RN, Rugg MD., "Neural activity associated with episodic memory for emotional context." *Neuropsychologia*. 2001;39(9):910-20
- McCarthy, G, Wood, CC, „Scalp distribution of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models.“ 1997, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
- McClure EB, Monk CS, Nelson EE, Zarahn E, Leibenluft E, Bilder RM, Charney DS, Ernst M, Pine DS., „A developmental examination of gender differences in brain engagement during evaluation of threat." *Biol Psychiatry*. 2004 Jun 1;55(11):1047-55.
- Michel, C. M., Murray, M. M., Lantz, G., Gonzales, S., Spinelli, L. & Peralta, R. G. D., "EEG source imaging." *Clinical neurophysiology*. 2004, 115, 2195-2222.
- Morita Y, Morita K, Yamamoto M, Waseda Y, Maeda H., "Effects of facial affect recognition on the auditory P300 in healthy subjects." *Neurosci Res*. 2001 Sep;41(1):89-95.
- Morris JS, Ohman A, Dolan RJ., "Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala." *Nature*. 1998 Jun 4;393(6684):467-70
- Murphy FC, Nimmo-Smith I, Lawrence AD., "Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis". *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2003 Sep;3(3):207-33.
- Nakata H, Sakamoto K, Ferretti A, Gianni Perrucci M, Del Gratta C, Kakigi R, Luca Romani G. „Somato-motor inhibitory processing in humans: an event-related functional MRI study." *Neuroimage*. 2008 Feb 15;39(4):1858-66.
- Naumann, E., Bartussek, D., Diedrich, O., Vogelbacher, D., & Mehrtens, S. (1992). Emotionality and the late positive complex of the event-related potential. In: Heinze, H.J., Münte, T.F. & Mangun, G.R. (Eds.) *New developments in event-related potentials* (pp. 157-162). Birkhauser: Boston.
- Nieuwenhuys R., "The greater limbic system, the emotional motor system and the brain." *Prog Brain Res*. 1996;107:551-80. Review.
- Olofsson JK, Nordin S, Sequeira H, Polich J., "Affective picture processing: an integrative review of ERP findings." *Biol Psychol*. 2008 Mar;77(3):247-65. Epub 2007 Nov 17. Review

Ono T, Nishijo H, Nishino H., „Functional role of the limbic system and basal ganglia in motivated behaviors.“ *J Neurol.* 2000 Sep;247 Suppl 5:V23-32

Panksepp, J., “The neurochemistry of behavior.“ *Annu Rev Psychol.* 1986;37:77-107.

Panksepp, J., “The Foundations of Human and Animal Emotions”. *Affective Neuroscience* 1998: Oxford University Press, Oxford.

Papousek I, Schuster G., “Covariations of EEG asymmetries and emotional states indicate that activity at frontopolar locations is particularly affected by state factors.“ *Psychophysiology.* 2002 May;39(3):350-60.

Paradiso S, Chemerinski E, Yazici KM, Tartaro A, Robinson RG., “Frontal lobe syndrome reassessed: comparison of patients with lateral or medial frontal brain damage.” *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1999 Nov;67(5):664-7.

Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. “Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain.” *Int J Psychophysiol.* 1994 Oct;18(1):49-65.

Pascual-Marqui, RD, “Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details.” 2002, *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology* 24D:5-12.

Pauli, P., „Elektrokortikale Befunde zu Angst und Panik“. 2001, *Z Med Psychol* 10, 137–143

Paulus MP, Stein MB., “An insular view of anxiety.“ *Biol Psychiatry.* 2006 Aug 15;60(4):383-7. Epub 2006 Jun 14. Review.

Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I., “Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI”. *Neuroimage.* 2002 Jun;16(2):331-48.

Phillips ML, Marks IM, Senior C, Lythgoe D, O'Dwyer AM, Meehan O, Williams SC, Brammer MJ, Bullmore ET, McGuire PK., “A differential neural response in obsessive-compulsive disorder patients with washing compared with checking symptoms to disgust.“ *Psychol Med.* 2000 Sep;30(5):1037-50.

Phillips ML, Williams LM, Heining M, Herba CM, Russell T, Andrew C, Bullmore ET, Brammer MJ, Williams SC, Morgan M, Young AW, Gray JA., “Differential neural responses to overt and covert presentations of facial expressions of fear and disgust”. *Neuroimage.* 2004 Apr; 21(4):1484-96.

Phillips ML, Young AW, Scott SK, Calder AJ, Andrew C, Giampietro V, Williams SC, Bullmore ET, Brammer M, Gray JA. “Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust.” *Proc Biol Sci.* 1998 Oct 7; 265(1408):1809-17.

Pinkham AE, Hopfinger JB, Pelfrey KA, Piven J, Penn DL. “Neural bases for impaired social cognition in schizophrenia and autism spectrum disorders.” *Schizophr Res.* 2008 Feb;99(1-3):164-75.

Pizzagalli DA, Greischar LL, Davidson RJ., “Spatio-temporal dynamics of brain mechanisms in aversive classical conditioning: high-density event-related potential and brain electrical tomography analyses”. *Neuropsychologia.* 2003;41(2):184-94.

Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In R. Plutchik & H. Kellerman (Eds.), *Emotion: Theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion* (pp. 3-33). New York: Academic.

Posner MI, Rothbart MK, Sheese BE, Tang Y. “The anterior cingulate gyrus and the mechanism of self-regulation.“ *Cogn Affect Behav Neurosci.* 2007 Dec;7(4):391-5. Review.

- Pourtois G, Grandjean D, Sander D, Vuilleumier P., "Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces." *Cereb Cortex*. 2004 Jun;14(6):619-33. Epub 2004 Mar 28.
- Preston SD, de Waal FB. "Empathy: Its ultimate and proximate bases." *Behav Brain Sci*. 2002 Feb;25(1):1-20;
- Quirk GJ, Repa C, LeDoux JE., „Fear conditioning enhances short-latency auditory responses of lateral amygdala neurons: parallel recordings in the freely behaving rat.”, *Neuron*. 1995 Nov;15(5):1029-39.
- Radua J, Phillips ML, Russell T, Lawrence N, Marshall N, Kalidindi S, El-Hage W, McDonald C, Giampietro V, Brammer MJ, David AS, Surguladze SA. "Neural response to specific components of fearful faces in healthy and schizophrenic adults." *Neuroimage*. 2010 Jan 1;49(1):939-46.
- Reiman EM, Lane RD, Ahern GL, Schwartz GE, Davidson RJ, Friston KJ, Yun LS, Chen K., „Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion.“ *Am J Psychiatry*. 1997 Jul;154(7):918-25.
- Rizzolatti G, Craighero L. "The mirror-neuron system." *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:169-92. Review.
- Rogan MT, LeDoux JE., „LTP is accompanied by commensurate enhancement of auditory-evoked responses in a fear conditioning circuit.” *Neuron*. 1995 Jul;15(1):127-36.
- Röhm, D., „EEG und Sprache - elektrophysiologische Korrelate der Sprachverarbeitung.“ 1999, Salzburg, Univ., Dipl.-Arb.
- Rolls ET., "Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas." *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 1992 Jan 29;335(1273):11-20.
- Rolls ET., "The orbitofrontal cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 1996 Oct 29;351(1346):1433-43; discussion 1443-4. Review.
- Rolls, ET., "Emotion explained: Series in affective science“, 2005. Oxford University Press.
- Sabatinelli D, Lang PJ, Keil A, Bradley MM., "Emotional perception: correlation of functional MRI and event-related potentials". *Cereb Cortex*. 2007 May;17(5):1085-91.
- Sambataro F, Dimalta S, Di Giorgio A, Taurisano P, Blasi G, Scarabino T, Giannatempo G, Nardini M, Bertolino A., "Preferential responses in amygdala and insula during presentation of facial contempt and disgust". *Eur J Neurosci*. 2006 Oct;24(8):2355-62.
- Sander K, Frome Y, Scheich H. "fMRI activations of amygdala, cingulate cortex, and auditory cortex by infant laughing and crying." *Hum Brain Mapp*. 2007 Oct; 28(10):1007-22
- Sato W, Kochiyama T, Yoshikawa S, Matsumura M., „Emotional expression boosts early visual processing of the face: ERP recording and its decomposition by independent component analysis.” *Neuroreport*. 2001 Mar 26;12(4):709-14
- Scherer KR., „Emotions are emergent processes: they require a dynamic computational architecture.“ *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2009 Dec 12;364(1535):3459-74.

Schienle A, Schäfer A, Hermann A, Rohrmann S, Vaitl D., "Symptom provocation and reduction in patients suffering from spider phobia : An fMRI study on exposure therapy". *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci.* 2007 Sep 27

Schienle A, Stark R, Walter B, Blecker C, Ott U, Kirsch P, Sammer G, Vaitl D., "The insula is not specifically involved in disgust processing: an fMRI study". *Neuroreport.* 2002 Nov 15;13(16):2023-6.

Schirmer A, Kotz SA, Friederici AD., "On the role of attention for the processing of emotions in speech: sex differences revisited." *Brain Res Cogn Brain Res.* 2005 Aug;24(3):442-52.

Schirmer A, Kotz SA., "ERP evidence for a sex-specific Stroop effect in emotional speech." *J Cogn Neurosci.* 2003 Nov 15;15(8):1135-48.

Schulz KP, Clerkin SM, Halperin JM, Newcorn JH, Tang CY, Fan J. "Dissociable neural effects of stimulus valence and preceding context during the inhibition of responses to emotional faces." *Hum Brain Mapp.* 2009 Sep;30(9):2821-33.

Schupp HT, Cuthbert BN, Bradley MM, Cacioppo JT, Ito T, Lang PJ., "Affective picture processing: the late positive potential is modulated by motivational relevance." *Psychophysiology.* 2000 Mar;37(2):257-61.

Servan-Schreiber D, Perlstein WM. „Pharmacologic activation of limbic structures and neuroimaging studies of emotions. " *J Clin Psychiatry.* 1997;58 Suppl 16:13-5.

Shamay-Tsoory SG, Aharon-Peretz J, Perry D. "Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions." *Brain.* 2009 Mar;132(Pt 3):617-27.

Shirao N, Okamoto Y, Okada G, Ueda K, Yamawaki S., "Gender differences in brain activity toward unpleasant linguistic stimuli concerning interpersonal relationships: an fMRI study." *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci.* 2005 Oct;255(5):327-33.

Simmons A, Matthews SC, Paulus MP, Stein MB. "Intolerance of uncertainty correlates with insula activation during affective ambiguity." *Neurosci Lett.* 2008 Jan 10;430(2):92-7.

Simpson JR Jr, Drevets WC, Snyder AZ, Gusnard DA, Raichle ME., "Emotion-induced changes in human medial prefrontal cortex: II. During anticipatory anxiety." *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2001 Jan 16;98(2):688-93.

Small DM, Zatorre RJ, Dagher A, Evans AC, Jones-Gotman M., "Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion." *Brain.* 2001 Sep;124(Pt 9):1720-33.

Spence S, Shapiro D, Zaidel E., "The role of the right hemisphere in the physiological and cognitive components of emotional processing." *Psychophysiology.* 1996 Mar;33(2):112-22.

Sprengelmeyer R, Rausch M, Eysel UT, Przuntek H. „Neural structures associated with recognition of facial expressions of basic emotions." *Proc Biol Sci.* 1998 Oct 22;265(1409):1927-31.

Springer, SP, Deutsch, G, „Linkes, rechtes Gehirn". 1998, Auflage: 4. Spektrum-Akademischer Vlg, Heidelberg.

Stark R, Schienle A, Sarlo M, Palomba D, Walter B, Vaitl D. „Influences of disgust sensitivity on hemodynamic responses towards a disgust-inducing film clip". *Int J Psychophysiol.* 2005 Jul;57(1):61-7.

- Stark R, Zimmermann M, Kagerer S, Schienle A, Walter B, Weygandt M, Vaitl D., „Hemodynamic brain correlates of disgust and fear ratings”. *Neuroimage*. 2007, Aug. 15;37(2):663-73.
- Stemmler, G. (1998). Emotionen. In F. Rösler (Hrsg.), „Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung, Serie I, Biologische Psychologie“, Band 5 (S. 95-163). Göttingen: Hogrefe.
- Sutton SK, Davidson RJ, Donzella B, Irwin W, Dotts DA., “Manipulating affective state using extended picture presentations.” *Psychophysiology*. 1997 Mar;34(2):217-26.
- Talati A, Hirsch J. “Functional specialization within the medial frontal gyrus for perceptual go/no-go decisions based on "what," "when," and "where" related information: an fMRI study.” *J Cogn Neurosci*. 2005 Jul;17(7):981-93.
- Thelen, S. (2000). „Untersuchungen einer langsamen positiven Welle im Ereigniskorrelierten Hirnrindenpotential auf visuelle Reize.“ Trier: Universität Trier (<http://ub-dok.uni-trier.de/diss/diss11/20001109/20001109.pdf>).
- Tomarken AJ, Davidson RJ, Wheeler RE, Kinney L., „Psychometric properties of resting anterior EEG asymmetry: temporal stability and internal consistency.” *Psychophysiology*. 1992 Sep;29(5):576-92.
- Van der Gaag C, Minderaa RB, Keyers C. „The BOLD signal in the amygdala does not differentiate between dynamic facial expressions.” *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2007 Jun;2(2):93-103.
- Vogt BA, Finch DM, Olson CR., “Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions.” *Cereb Cortex*. 1992 Nov-Dec;2(6):435-43. Review.
- Voruganti L, Slomka P, Zabel P, Costa G, So A, Mattar A, Awad AG. “Subjective effects of AMPT-induced dopamine depletion in schizophrenia: correlation between dysphoric responses and striatal D(2) binding ratios on SPECT imaging.” *Neuropsychopharmacology*. 2001 Nov;25(5):642-50.
- Wager TD, Phan KL, Liberzon I, Taylor SF., “Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging.” *Neuroimage*. 2003 Jul;19(3):513-31.
- Waldmüller, J., „Emotional visuelle Reize und ihre corticale Verarbeitung - eine Untersuchung mittels DC-EEG unter Verwendung einer non-cephalen Referenz.“ 2001, Wien, Univ., Dipl.-Arb.
- Watt DF., Affect and the limbic system: some hard problems. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 1998 Winter;10(1):113-6.
- Weinberger NM, Diamond DM., „Physiological plasticity in auditory cortex: rapid induction by learning.” *Prog Neurobiol*. 1987;29(1):1-55.
- Whalen PJ, Rauch SL, Etcoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA., “Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge.” *J Neurosci*. 1998 Jan 1;18(1):411-8.
- Wicker B, Ruby P, Royet JP, Fonlupt P. „A relation between rest and the self in the brain?” *Brain Res Brain Res Rev*. 2003 Oct;43(2):224-30.
- Wicker B, Keyers C, Plailly J, Royet JP, Gallese V, Rizzolatti G., “Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust”. *Neuron*. 2003 Oct 30;40(3):655-64.

Wik G, Fredrikson M, Ericson K, Eriksson L, Stone-Elander S, Greitz T., „A functional cerebral response to frightening visual stimulation.“ *Psychiatry Res.* 1993 Apr;50(1):15-24.

Wild B, Erb M, Bartels M., “Are emotions contagious? Evoked emotions while viewing emotionally expressive faces: quality, quantity, time course and gender differences”. *Psychiatry Res.* 2001 Jun 1;102(2):109-24.

Wilensky, AE., Schafe, GE., LeDoux, JE.; “The amygdala modulates memory consolidation of fear-motivated inhibitory avoidance learning but not classical fear conditioning.” *J Neurosci.*, 2000, Sep., 15;20(18):7059-66.

Willhelm, P., “Kurze Filmszenen als Stimulusmaterial zur experimentellen Erzeugung der Grundemotionen: Angst, Aerger, Ekel, Trauer, Ueberraschung und Heiterkeit.“ *Forschungsberichte* Nr. 96, 1993, Psychologisches Institut, Freiburg i. Br.

Williams LM, Palmer D, Liddell BJ, Song L, Gordon E. “The 'when' and 'where' of perceiving signals of threat versus non-threat.” *Neuroimage.* 2006 May 15;31(1):458-67.

Wrase J, Klein S, Gruesser SM, Hermann D, Flor H, Mann K, Braus DF, Heinz A., “Gender differences in the processing of standardized emotional visual stimuli in humans: a functional magnetic resonance imaging study.” *Neurosci Lett.* 2003 Sep 4;348(1):41-5.

Wright P, He G, Shapira NA, Goodman WK, Liu Y.,”Disgust and the insula: fMRI responses to pictures of mutilation and contamination”. *Neuroreport.* 2004 Oct 25;15(15):2347-51.

ANHANG

Anhang I:

MWVA – Subtraktionsdaten

Amplitudenwerte-sub							
Quelle		Quadratsumme Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sign.	Eta-Quadrat
ADC1							
COND	Sphärizität angenommen	278,337	2,000	139,169	7,092	0,002	0,252
	Greenhouse-Geisser	278,337	1,968	141,438	7,092	0,002	0,252
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	151,717	2,000	75,859	3,866	0,029	0,155
	Greenhouse-Geisser	151,717	1,968	77,096	3,866	0,029	0,155
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	824,139	42,000	19,622			
	Greenhouse-Geisser	824,139	41,326	19,942			
LOC	Sphärizität angenommen	148,129	21,000	7,054	1,558	0,055	0,069
	Greenhouse-Geisser	148,129	4,869	30,420	1,558	0,180	0,069
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	97,610	21,000	4,648	1,027	0,429	0,047
	Greenhouse-Geisser	97,610	4,869	20,046	1,027	0,405	0,047
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	1996,062	441,000	4,526			
	Greenhouse-Geisser	1996,062	102,258	19,520			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	90,699	42,000	2,159	2,768	0,000	0,116
	Greenhouse-Geisser	90,699	9,448	9,599	2,768	0,004	0,116
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	36,456	42,000	0,868	1,112	0,290	0,050
	Greenhouse-Geisser	36,456	9,448	3,858	1,112	0,355	0,050
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	688,164	882,000	0,780			
	Greenhouse-Geisser	688,164	198,415	3,468			
ADC2							
COND	Sphärizität angenommen	1119,809	2,000	559,904	11,462	0,000	0,353
	Greenhouse-Geisser	1119,809	1,795	623,912	11,462	0,000	0,353
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	252,941	2,000	126,471	2,589	0,087	0,110
	Greenhouse-Geisser	252,941	1,795	140,929	2,589	0,094	0,110
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	2051,583	42,000	48,847			
	Greenhouse-Geisser	2051,583	37,691	54,431			
LOC	Sphärizität angenommen	345,905	21,000	16,472	1,404	0,110	0,063
	Greenhouse-Geisser	345,905	4,678	73,943	1,404	0,232	0,063
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	284,057	21,000	13,527	1,153	0,289	0,052
	Greenhouse-Geisser	284,057	4,678	60,722	1,153	0,338	0,052
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	5172,618	441,000	11,729			
	Greenhouse-Geisser	5172,618	98,237	52,654			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	228,076	42,000	5,430	2,793	0,000	0,117
	Greenhouse-Geisser	228,076	10,113	22,554	2,793	0,003	0,117
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	106,144	42,000	2,527	1,300	0,099	0,058
	Greenhouse-Geisser	106,144	10,113	10,496	1,300	0,231	0,058
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	1714,798	882,000	1,944			
	Greenhouse-Geisser	1714,798	212,365	8,075			
ADC3							
COND	Sphärizität angenommen	1213,384	2,000	606,692	10,770	0,000	0,339
	Greenhouse-Geisser	1213,384	1,784	680,190	10,770	0,000	0,339
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	299,850	2,000	149,925	2,661	0,082	0,112

	Greenhouse-Geisser	299,850	1,784	168,088	2,661	0,089	0,112
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	2365,985	42,000	56,333			
	Greenhouse-Geisser	2365,985	37,462	63,157			
LOC	Sphärizität angenommen	876,061	21,000	41,717	3,107	0,000	0,129
	Greenhouse-Geisser	876,061	5,368	163,200	3,107	0,010	0,129
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	274,186	21,000	13,056	0,973	0,497	0,044
	Greenhouse-Geisser	274,186	5,368	51,078	0,973	0,442	0,044
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	5920,680	441,000	13,426			
	Greenhouse-Geisser	5920,680	112,728	52,522			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	258,281	42,000	6,150	2,586	0,000	0,110
	Greenhouse-Geisser	258,281	9,051	28,537	2,586	0,008	0,110
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	87,402	42,000	2,081	0,875	0,698	0,040
	Greenhouse-Geisser	87,402	9,051	9,657	0,875	0,549	0,040
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	2097,734	882,000	2,378			
	Greenhouse-Geisser	2097,734	190,064	11,037			
ADC4							
COND	Sphärizität angenommen	1844,134	2,000	922,067	12,321	0,000	0,370
	Greenhouse-Geisser	1844,134	1,679	1098,162	12,321	0,000	0,370
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	581,740	2,000	290,870	3,887	0,028	0,156
	Greenhouse-Geisser	581,740	1,679	346,420	3,887	0,036	0,156
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	3143,103	42,000	74,836			
	Greenhouse-Geisser	3143,103	35,265	89,128			
LOC	Sphärizität angenommen	599,110	21,000	28,529	2,154	0,002	0,093
	Greenhouse-Geisser	599,110	5,608	106,832	2,154	0,057	0,093
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	221,309	21,000	10,539	0,796	0,726	0,037
	Greenhouse-Geisser	221,309	5,608	39,463	0,796	0,568	0,037
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	5841,836	441,000	13,247			
	Greenhouse-Geisser	5841,836	117,767	49,605			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	240,988	42,000	5,738	1,878	0,001	0,082
	Greenhouse-Geisser	240,988	9,251	26,050	1,878	0,055	0,082
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	90,311	42,000	2,150	0,704	0,923	0,032
	Greenhouse-Geisser	90,311	9,251	9,762	0,704	0,709	0,032
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	2695,419	882,000	3,056			
	Greenhouse-Geisser	2695,419	194,274	13,874			
ADC5							
COND	Sphärizität angenommen	1114,329	2,000	557,164	7,110	0,002	0,253
	Greenhouse-Geisser	1114,329	1,625	685,660	7,110	0,004	0,253
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	489,562	2,000	244,781	3,123	0,054	0,129
	Greenhouse-Geisser	489,562	1,625	301,233	3,123	0,066	0,129
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	3291,437	42,000	78,368			
	Greenhouse-Geisser	3291,437	34,129	96,441			
LOC	Sphärizität angenommen	461,860	21,000	21,993	1,219	0,230	0,055
	Greenhouse-Geisser	461,860	4,420	104,486	1,219	0,308	0,055
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	356,819	21,000	16,991	0,941	0,537	0,043
	Greenhouse-Geisser	356,819	4,420	80,723	0,941	0,450	0,043
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	7959,091	441,000	18,048			
	Greenhouse-Geisser	7959,091	92,826	85,742			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	255,986	42,000	6,095	1,911	0,001	0,083
	Greenhouse-Geisser	255,986	9,096	28,144	1,911	0,052	0,083
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	73,437	42,000	1,749	0,548	0,992	0,025
	Greenhouse-Geisser	73,437	9,096	8,074	0,548	0,839	0,025

Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	2812,483	882,000	3,189			
	Greenhouse-Geisser	2812,483	191,008	14,724			
ADC6							
COND	Sphärizität angenommen	917,182	2,000	458,591	5,519	0,007	0,208
	Greenhouse-Geisser	917,182	1,804	508,431	5,519	0,010	0,208
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	333,810	2,000	166,905	2,009	0,147	0,087
	Greenhouse-Geisser	333,810	1,804	185,044	2,009	0,152	0,087
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	3490,128	42,000	83,098			
	Greenhouse-Geisser	3490,128	37,883	92,129			
LOC	Sphärizität angenommen	471,699	21,000	22,462	1,013	0,446	0,046
	Greenhouse-Geisser	471,699	3,977	118,614	1,013	0,405	0,046
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	565,315	21,000	26,920	1,214	0,234	0,055
	Greenhouse-Geisser	565,315	3,977	142,155	1,214	0,311	0,055
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	9782,308	441,000	22,182			
	Greenhouse-Geisser	9782,308	83,512	117,137			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	274,758	42,000	6,542	1,750	0,003	0,077
	Greenhouse-Geisser	274,758	8,879	30,945	1,750	0,082	0,077
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	95,150	42,000	2,265	0,606	0,978	0,028
	Greenhouse-Geisser	95,150	8,879	10,717	0,606	0,789	0,028
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	3297,213	882,000	3,738			
	Greenhouse-Geisser	3297,213	186,455	17,684			
ADC7							
COND	Sphärizität angenommen	1330,195	2,000	665,098	6,979	0,002	0,249
	Greenhouse-Geisser	1330,195	1,653	804,708	6,979	0,005	0,249
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	576,534	2,000	288,267	3,025	0,059	0,126
	Greenhouse-Geisser	576,534	1,653	348,777	3,025	0,070	0,126
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	4002,569	42,000	95,299			
	Greenhouse-Geisser	4002,569	34,713	115,304			
LOC	Sphärizität angenommen	469,271	21,000	22,346	1,071	0,377	0,049
	Greenhouse-Geisser	469,271	4,641	101,113	1,071	0,380	0,049
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	491,209	21,000	23,391	1,121	0,322	0,051
	Greenhouse-Geisser	491,209	4,641	105,840	1,121	0,354	0,051
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	9203,921	441,000	20,871			
	Greenhouse-Geisser	9203,921	97,462	94,436			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	332,624	42,000	7,920	1,924	0,000	0,084
	Greenhouse-Geisser	332,624	8,742	38,049	1,924	0,053	0,084
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	124,753	42,000	2,970	0,722	0,907	0,033
	Greenhouse-Geisser	124,753	8,742	14,271	0,722	0,685	0,033
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	3630,269	882,000	4,116			
	Greenhouse-Geisser	3630,269	183,582	19,775			
ADC8							
COND	Sphärizität angenommen	2014,951	2,000	1007,476	9,058	0,001	0,301
	Greenhouse-Geisser	2014,951	1,638	1229,790	9,058	0,001	0,301
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	640,613	2,000	320,306	2,880	0,067	0,121
	Greenhouse-Geisser	640,613	1,638	390,987	2,880	0,079	0,121
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	4671,453	42,000	111,225			
	Greenhouse-Geisser	4671,453	34,407	135,769			
LOC	Sphärizität angenommen	702,764	21,000	33,465	1,505	0,071	0,067
	Greenhouse-Geisser	702,764	5,106	137,640	1,505	0,193	0,067
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	628,960	21,000	29,950	1,347	0,140	0,060
	Greenhouse-Geisser	628,960	5,106	123,185	1,347	0,249	0,060

Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	9803,018	441,000	22,229			
	Greenhouse-Geisser	9803,018	107,222	91,427			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	360,722	42,000	8,589	1,883	0,001	0,082
	Greenhouse-Geisser	360,722	8,983	40,155	1,883	0,057	0,082
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	117,467	42,000	2,797	0,613	0,975	0,028
	Greenhouse-Geisser	117,467	8,983	13,076	0,613	0,785	0,028
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	4021,892	882,000	4,560			
	Greenhouse-Geisser	4021,892	188,647	21,320			
ADC9							
COND	Sphärizität angenommen	3254,470	2,000	1627,235	11,550	0,000	0,355
	Greenhouse-Geisser	3254,470	1,684	1932,674	11,550	0,000	0,355
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	785,328	2,000	392,664	2,787	0,073	0,117
	Greenhouse-Geisser	785,328	1,684	466,369	2,787	0,083	0,117
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	5916,970	42,000	140,880			
	Greenhouse-Geisser	5916,970	35,362	167,324			
LOC	Sphärizität angenommen	590,400	21,000	28,114	1,205	0,241	0,054
	Greenhouse-Geisser	590,400	5,554	106,294	1,205	0,310	0,054
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	604,648	21,000	28,793	1,234	0,217	0,056
	Greenhouse-Geisser	604,648	5,554	108,859	1,234	0,296	0,056
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	10287,433	441,000	23,328			
	Greenhouse-Geisser	10287,433	116,643	88,196			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	304,703	42,000	7,255	1,366	0,063	0,061
	Greenhouse-Geisser	304,703	8,748	34,831	1,366	0,208	0,061
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	113,283	42,000	2,697	0,508	0,996	0,024
	Greenhouse-Geisser	113,283	8,748	12,950	0,508	0,863	0,024
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	4682,990	882,000	5,310			
	Greenhouse-Geisser	4682,990	183,708	25,491			
ADC10							
COND	Sphärizität angenommen	3516,616	2,000	1758,308	11,060	0,000	0,345
	Greenhouse-Geisser	3516,616	1,696	2073,093	11,060	0,000	0,345
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	979,379	2,000	489,689	3,080	0,056	0,128
	Greenhouse-Geisser	979,379	1,696	577,357	3,080	0,066	0,128
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	6676,850	42,000	158,973			
	Greenhouse-Geisser	6676,850	35,623	187,433			
LOC	Sphärizität angenommen	752,449	21,000	35,831	1,238	0,214	0,056
	Greenhouse-Geisser	752,449	4,971	151,365	1,238	0,297	0,056
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	701,161	21,000	33,389	1,153	0,289	0,052
	Greenhouse-Geisser	701,161	4,971	141,048	1,153	0,337	0,052
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	12765,794	441,000	28,947			
	Greenhouse-Geisser	12765,794	104,393	122,286			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	355,304	42,000	8,460	1,455	0,032	0,065
	Greenhouse-Geisser	355,304	8,354	42,532	1,455	0,174	0,065
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	117,038	42,000	2,787	0,479	0,998	0,022
	Greenhouse-Geisser	117,038	8,354	14,010	0,479	0,876	0,022
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	5126,422	882,000	5,812			
	Greenhouse-Geisser	5126,422	175,429	29,222			
ADC11							
COND	Sphärizität angenommen	3360,373	2,000	1680,186	10,941	0,000	0,343
	Greenhouse-Geisser	3360,373	1,771	1896,938	10,941	0,000	0,343
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	1042,986	2,000	521,493	3,396	0,043	0,139
	Greenhouse-Geisser	1042,986	1,771	588,768	3,396	0,050	0,139

Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	6449,774	42,000	153,566			
	Greenhouse-Geisser	6449,774	37,201	173,377			
LOC	Sphärizität angenommen	747,868	21,000	35,613	1,080	0,366	0,049
	Greenhouse-Geisser	747,868	4,634	161,376	1,080	0,375	0,049
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	946,357	21,000	45,065	1,367	0,129	0,061
	Greenhouse-Geisser	946,357	4,634	204,206	1,367	0,246	0,061
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	14542,635	441,000	32,976			
	Greenhouse-Geisser	14542,635	97,321	149,430			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	427,863	42,000	10,187	1,554	0,015	0,069
	Greenhouse-Geisser	427,863	8,815	48,537	1,554	0,134	0,069
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	167,844	42,000	3,996	0,610	0,977	0,028
	Greenhouse-Geisser	167,844	8,815	19,040	0,610	0,785	0,028
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	5780,379	882,000	6,554			
	Greenhouse-Geisser	5780,379	185,120	31,225			
ADC12							
COND	Sphärizität angenommen	1839,025	2,000	919,513	10,178	0,000	0,326
	Greenhouse-Geisser	1839,025	1,692	1086,637	10,178	0,001	0,326
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	563,137	2,000	281,568	3,117	0,055	0,129
	Greenhouse-Geisser	563,137	1,692	332,744	3,117	0,064	0,129
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	3794,595	42,000	90,347			
	Greenhouse-Geisser	3794,595	35,540	106,768			
LOC	Sphärizität angenommen	456,279	21,000	21,728	1,149	0,293	0,052
	Greenhouse-Geisser	456,279	4,643	98,279	1,149	0,340	0,052
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	459,826	21,000	21,896	1,158	0,285	0,052
	Greenhouse-Geisser	459,826	4,643	99,044	1,158	0,335	0,052
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	8339,103	441,000	18,910			
	Greenhouse-Geisser	8339,103	97,496	85,533			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	265,970	42,000	6,333	1,738	0,003	0,076
	Greenhouse-Geisser	265,970	9,157	29,046	1,738	0,082	0,076
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	94,725	42,000	2,255	0,619	0,973	0,029
	Greenhouse-Geisser	94,725	9,157	10,345	0,619	0,783	0,029
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	3214,423	882,000	3,644			
	Greenhouse-Geisser	3214,423	192,292	16,716			

MWVA – Subtraktionsdaten

Z- WERTE							
Quelle		Quadratsumme Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sign.	Eta-Quadrat
ADC1 -z sub							
LOC	Sphärizität angenommen	82,657	21,000	3,936	1,991	0,006	0,087
	Greenhouse-Geisser	82,657	7,813	10,580	1,991	0,052	0,087
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	41,557	21,000	1,979	1,001	0,460	0,046
	Greenhouse-Geisser	41,557	7,813	5,319	1,001	0,436	0,046
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	871,714	441,000	1,977			
	Greenhouse-Geisser	871,714	164,069	5,313			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	49,029	42,000	1,167	2,647	0,000	0,112
	Greenhouse-Geisser	49,029	8,552	5,733	2,647	0,008	0,112
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	15,494	42,000	0,369	0,837	0,761	0,038
	Greenhouse-Geisser	15,494	8,552	1,812	0,837	0,578	0,038
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	388,973	882,000	0,441			
	Greenhouse-Geisser	388,973	179,600	2,166			
ADC2 -z sub							
LOC	Sphärizität angenommen	80,257	21,000	3,822	1,945	0,008	0,085
	Greenhouse-Geisser	80,257	8,746	9,177	1,945	0,050	0,085
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	50,759	21,000	2,417	1,230	0,220	0,055
	Greenhouse-Geisser	50,759	8,746	5,804	1,230	0,280	0,055
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	866,502	441,000	1,965			
	Greenhouse-Geisser	866,502	183,664	4,718			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	53,988	42,000	1,285	3,041	0,000	0,126
	Greenhouse-Geisser	53,988	10,335	5,224	3,041	0,001	0,126
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	26,469	42,000	0,630	1,491	0,025	0,066
	Greenhouse-Geisser	26,469	10,335	2,561	1,491	0,141	0,066
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	372,846	882,000	0,423			
	Greenhouse-Geisser	372,846	217,043	1,718			
ADC3 -z sub							
LOC	Sphärizität angenommen	159,270	21,000	7,584	4,007	0,000	0,160
	Greenhouse-Geisser	159,270	8,535	18,660	4,007	0,000	0,160
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	45,247	21,000	2,155	1,138	0,304	0,051
	Greenhouse-Geisser	45,247	8,535	5,301	1,138	0,339	0,051
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	834,740	441,000	1,893			
	Greenhouse-Geisser	834,740	179,239	4,657			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	44,435	42,000	1,058	2,663	0,000	0,113
	Greenhouse-Geisser	44,435	9,892	4,492	2,663	0,005	0,113
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	14,326	42,000	0,341	0,859	0,725	0,039
	Greenhouse-Geisser	14,326	9,892	1,448	0,859	0,572	0,039
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	350,394	882,000	0,397			
	Greenhouse-Geisser	350,394	207,723	1,687			
ADC4 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	107,894	21,000	5,138	2,790	0,000	0,117

	Greenhouse-Geisser	107,894	9,654	11,176	2,790	0,003	0,117
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	30,649	21,000	1,459	0,793	0,730	0,036
	Greenhouse-Geisser	30,649	9,654	3,175	0,793	0,632	0,036
Error(LOC)	Sphericity Assumed	812,062	441,000	1,841			
	Greenhouse-Geisser	812,062	202,742	4,005			
COND * LOC	Sphericity Assumed	38,526	42,000	0,917	1,821	0,001	0,080
	Greenhouse-Geisser	38,526	10,023	3,844	1,821	0,058	0,080
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	16,355	42,000	0,389	0,773	0,851	0,036
	Greenhouse-Geisser	16,355	10,023	1,632	0,773	0,655	0,036
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	444,322	882,000	0,504			
	Greenhouse-Geisser	444,322	210,475	2,111			
ADC5 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	61,196	21,000	2,914	1,460	0,087	0,065
	Greenhouse-Geisser	61,196	8,682	7,048	1,460	0,168	0,065
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	40,620	21,000	1,934	0,969	0,501	0,044
	Greenhouse-Geisser	40,620	8,682	4,678	0,969	0,465	0,044
Error(LOC)	Sphericity Assumed	880,096	441,000	1,996			
	Greenhouse-Geisser	880,096	182,332	4,827			
COND * LOC	Sphericity Assumed	41,658	42,000	0,992	2,111	0,000	0,091
	Greenhouse-Geisser	41,658	9,918	4,200	2,111	0,025	0,091
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	11,703	42,000	0,279	0,593	0,982	0,027
	Greenhouse-Geisser	11,703	9,918	1,180	0,593	0,818	0,027
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	414,479	882,000	0,470			
	Greenhouse-Geisser	414,479	208,278	1,990			
ADC6 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	63,522	21,000	3,025	1,502	0,072	0,067
	Greenhouse-Geisser	63,522	7,989	7,951	1,502	0,160	0,067
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	51,360	21,000	2,446	1,215	0,233	0,055
	Greenhouse-Geisser	51,360	7,989	6,429	1,215	0,293	0,055
Error(LOC)	Sphericity Assumed	887,847	441,000	2,013			
	Greenhouse-Geisser	887,847	167,766	5,292			
COND * LOC	Sphericity Assumed	36,276	42,000	0,864	1,906	0,001	0,083
	Greenhouse-Geisser	36,276	10,699	3,391	1,906	0,041	0,083
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	10,453	42,000	0,249	0,549	0,992	0,025
	Greenhouse-Geisser	10,453	10,699	0,977	0,549	0,864	0,025
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	399,779	882,000	0,453			
	Greenhouse-Geisser	399,779	224,679	1,779			
ADC7 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	54,794	21,000	2,609	1,327	0,152	0,059
	Greenhouse-Geisser	54,794	8,624	6,354	1,327	0,228	0,059
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	47,060	21,000	2,241	1,139	0,303	0,051
	Greenhouse-Geisser	47,060	8,624	5,457	1,139	0,338	0,051
Error(LOC)	Sphericity Assumed	867,305	441,000	1,967			
	Greenhouse-Geisser	867,305	181,094	4,789			
COND * LOC	Sphericity Assumed	39,545	42,000	0,942	1,956	0,000	0,085
	Greenhouse-Geisser	39,545	10,499	3,767	1,956	0,036	0,085
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	17,301	42,000	0,412	0,856	0,730	0,039
	Greenhouse-Geisser	17,301	10,499	1,648	0,856	0,580	0,039
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	424,516	882,000	0,481			

	Greenhouse-Geisser	424,516	220,480	1,925			
ADC8 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	90,018	21,000	4,287	2,247	0,001	0,097
	Greenhouse-Geisser	90,018	8,922	10,089	2,247	0,021	0,097
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	64,977	21,000	3,094	1,622	0,041	0,072
	Greenhouse-Geisser	64,977	8,922	7,283	1,622	0,112	0,072
Error(LOC)	Sphericity Assumed	841,336	441,000	1,908			
	Greenhouse-Geisser	841,336	187,370	4,490			
COND * LOC	Sphericity Assumed	36,927	42,000	0,879	1,947	0,000	0,085
	Greenhouse-Geisser	36,927	11,605	3,182	1,947	0,032	0,085
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	17,321	42,000	0,412	0,913	0,630	0,042
	Greenhouse-Geisser	17,321	11,605	1,492	0,913	0,532	0,042
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	398,309	882,000	0,452			
	Greenhouse-Geisser	398,309	243,712	1,634			
ADC9 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	55,869	21,000	2,660	1,385	0,120	0,062
	Greenhouse-Geisser	55,869	8,733	6,397	1,385	0,200	0,062
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	46,924	21,000	2,234	1,163	0,280	0,052
	Greenhouse-Geisser	46,924	8,733	5,373	1,163	0,322	0,052
Error(LOC)	Sphericity Assumed	847,170	441,000	1,921			
	Greenhouse-Geisser	847,170	183,394	4,619			
COND * LOC	Sphericity Assumed	31,951	42,000	0,761	1,487	0,025	0,066
	Greenhouse-Geisser	31,951	10,488	3,047	1,487	0,141	0,066
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	17,071	42,000	0,406	0,795	0,823	0,036
	Greenhouse-Geisser	17,071	10,488	1,628	0,795	0,640	0,036
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	451,186	882,000	0,512			
	Greenhouse-Geisser	451,186	220,244	2,049			
ADC10 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	54,416	21,000	2,591	1,315	0,159	0,059
	Greenhouse-Geisser	54,416	8,595	6,331	1,315	0,234	0,059
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	42,964	21,000	2,046	1,039	0,414	0,047
	Greenhouse-Geisser	42,964	8,595	4,999	1,039	0,410	0,047
Error(LOC)	Sphericity Assumed	868,740	441,000	1,970			
	Greenhouse-Geisser	868,740	180,494	4,813			
COND * LOC	Sphericity Assumed	33,723	42,000	0,803	1,621	0,008	0,072
	Greenhouse-Geisser	33,723	10,220	3,300	1,621	0,100	0,072
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	13,177	42,000	0,314	0,633	0,967	0,029
	Greenhouse-Geisser	13,177	10,220	1,289	0,633	0,788	0,029
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	436,878	882,000	0,495			
	Greenhouse-Geisser	436,878	214,613	2,036			
ADC11 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	45,382	21,000	2,161	1,105	0,339	0,050
	Greenhouse-Geisser	45,382	8,512	5,332	1,105	0,362	0,050
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	47,910	21,000	2,281	1,167	0,276	0,053
	Greenhouse-Geisser	47,910	8,512	5,629	1,167	0,320	0,053
Error(LOC)	Sphericity Assumed	862,289	441,000	1,955			
	Greenhouse-Geisser	862,289	178,744	4,824			
COND * LOC	Sphericity Assumed	35,969	42,000	0,856	1,701	0,004	0,075
	Greenhouse-Geisser	35,969	10,492	3,428	1,701	0,078	0,075
COND * LOC *	Sphericity Assumed	14,720	42,000	0,350	0,696	0,929	0,032

GROUP							
	Greenhouse-Geisser	14,720	10,492	1,403	0,696	0,735	0,032
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	443,936	882,000	0,503			
	Greenhouse-Geisser	443,936	220,335	2,015			
ADC12 -z sub							
LOC	Sphericity Assumed	61,310	21,000	2,920	1,493	0,075	0,066
	Greenhouse-Geisser	61,310	8,969	6,836	1,493	0,153	0,066
LOC * GROUP	Sphericity Assumed	49,483	21,000	2,356	1,205	0,242	0,054
	Greenhouse-Geisser	49,483	8,969	5,517	1,205	0,294	0,054
Error(LOC)	Sphericity Assumed	862,474	441,000	1,956			
	Greenhouse-Geisser	862,474	188,355	4,579			
COND * LOC	Sphericity Assumed	37,946	42,000	0,903	1,887	0,001	0,082
	Greenhouse-Geisser	37,946	10,655	3,561	1,887	0,044	0,082
COND * LOC * GROUP	Sphericity Assumed	16,517	42,000	0,393	0,821	0,784	0,038
	Greenhouse-Geisser	16,517	10,655	1,550	0,821	0,615	0,038
Error(COND*LOC)	Sphericity Assumed	422,223	882,000	0,479			
	Greenhouse-Geisser	422,223	223,753	1,887			

Anhang II

MWVA - nicht- subtraktions- korrigierte Daten

Amplitudenwerte							
Quelle		Quadratsumme Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sign.	Eta-Quadrat
ADC1							
COND	Sphärizität angenommen	109,21	3,00	36,403	0,509	0,678	0,024
	Greenhouse-Geisser	109,21	2,67	40,971	0,509	0,656	0,024
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	247,96	3,00	82,654	1,155	0,334	0,052
	Greenhouse-Geisser	247,96	2,67	93,026	1,155	0,332	0,052
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	4508,30	63,00	71,560			
	Greenhouse-Geisser	4508,30	55,98	80,540			
LOC	Sphärizität angenommen	2874,08	21,00	136,861	38,739	0,000	0,648
	Greenhouse-Geisser	2874,08	5,08	565,364	38,739	0,000	0,648
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	59,11	21,00	2,815	0,797	0,725	0,037
	Greenhouse-Geisser	59,11	5,08	11,628	0,797	0,556	0,037
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	1558,00	441,00	3,533			
	Greenhouse-Geisser	1558,00	106,76	14,594			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	137,29	63,00	2,179	1,165	0,181	0,053
	Greenhouse-Geisser	137,29	9,94	13,814	1,165	0,316	0,053
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	145,87	63,00	2,315	1,238	0,103	0,056
	Greenhouse-Geisser	145,87	9,94	14,677	1,238	0,269	0,056
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	2474,86	1323,00	1,871			
	Greenhouse-Geisser	2474,86	208,71	11,858			
ADC2							
COND	Sphärizität angenommen	846,65	3,00	282,217	1,568	0,206	0,069
	Greenhouse-Geisser	846,65	2,72	311,545	1,568	0,210	0,069
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	672,98	3,00	224,328	1,246	0,300	0,056
	Greenhouse-Geisser	672,98	2,72	247,641	1,246	0,301	0,056
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	11338,11	63,00	179,970			
	Greenhouse-Geisser	11338,11	57,07	198,673			
LOC	Sphärizität angenommen	6890,35	21,00	328,112	31,475	0,000	0,600
	Greenhouse-Geisser	6890,35	5,21	1322,805	31,475	0,000	0,600
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	175,20	21,00	8,343	0,800	0,720	0,037
	Greenhouse-Geisser	175,20	5,21	33,634	0,800	0,556	0,037
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	4597,20	441,00	10,424			
	Greenhouse-Geisser	4597,20	109,39	42,027			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	326,73	63,00	5,186	1,029	0,415	0,047
	Greenhouse-Geisser	326,73	9,81	33,310	1,029	0,419	0,047
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	417,75	63,00	6,631	1,316	0,052	0,059
	Greenhouse-Geisser	417,75	9,81	42,590	1,316	0,225	0,059
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	6665,23	1323,00	5,038			
	Greenhouse-Geisser	6665,23	205,98	32,358			
ADC3							
COND	Sphärizität angenommen	848,02	3,00	282,674	1,348	0,267	0,060
	Greenhouse-Geisser	848,02	2,68	316,090	1,348	0,269	0,060
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	313,60	3,00	104,532	0,498	0,685	0,023
	Greenhouse-Geisser	313,60	2,68	116,889	0,498	0,664	0,023
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	13210,71	63,00	209,694			
	Greenhouse-Geisser	13210,71	56,34	234,483			
LOC	Sphärizität angenommen	7684,76	21,00	365,941	31,144	0,000	0,597
	Greenhouse-Geisser	7684,76	5,46	1408,525	31,144	0,000	0,597
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	173,14	21,00	8,245	0,702	0,833	0,032
	Greenhouse-Geisser	173,14	5,46	31,734	0,702	0,635	0,032
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	5181,68	441,00	11,750			
	Greenhouse-Geisser	5181,68	114,57	45,226			

COND * LOC	Sphärität angenommen	452,29	63,00	7,179	1,164	0,182	0,053
	Greenhouse-Geisser	452,29	9,68	46,713	1,164	0,318	0,053
COND * LOC * GROUP	Sphärität angenommen	493,09	63,00	7,827	1,270	0,079	0,057
	Greenhouse-Geisser	493,09	9,68	50,928	1,270	0,251	0,057
Fehler(COND*LOC)	Sphärität angenommen	8156,31	1323,00	6,165			
	Greenhouse-Geisser	8156,31	203,33	40,114			
ADC4							
COND	Sphärität angenommen	1294,42	3,00	431,475	1,516	0,219	0,067
	Greenhouse-Geisser	1294,42	2,78	466,453	1,516	0,222	0,067
COND * GROUP	Sphärität angenommen	594,53	3,00	198,178	0,696	0,558	0,032
	Greenhouse-Geisser	594,53	2,78	214,244	0,696	0,547	0,032
Fehler(COND)	Sphärität angenommen	17929,74	63,00	284,599			
	Greenhouse-Geisser	17929,74	58,28	307,670			
LOC	Sphärität angenommen	9225,39	21,00	439,304	31,753	0,000	0,602
	Greenhouse-Geisser	9225,39	5,46	1688,222	31,753	0,000	0,602
LOC * GROUP	Sphärität angenommen	197,93	21,00	9,425	0,681	0,853	0,031
	Greenhouse-Geisser	197,93	5,46	36,220	0,681	0,651	0,031
Fehler(LOC)	Sphärität angenommen	6101,26	441,00	13,835			
	Greenhouse-Geisser	6101,26	114,76	53,167			
COND * LOC	Sphärität angenommen	397,40	63,00	6,308	0,867	0,762	0,040
	Greenhouse-Geisser	397,40	9,99	39,787	0,867	0,565	0,040
COND * LOC * GROUP	Sphärität angenommen	513,19	63,00	8,146	1,119	0,248	0,051
	Greenhouse-Geisser	513,19	9,99	51,378	1,119	0,349	0,051
Fehler(COND*LOC)	Sphärität angenommen	9630,27	1323,00	7,279			
	Greenhouse-Geisser	9630,27	209,76	45,912			
ADC5							
COND	Sphärität angenommen	1485,92	3,00	495,305	1,660	0,185	0,073
	Greenhouse-Geisser	1485,92	2,65	560,360	1,660	0,191	0,073
COND * GROUP	Sphärität angenommen	820,79	3,00	273,598	0,917	0,438	0,042
	Greenhouse-Geisser	820,79	2,65	309,534	0,917	0,429	0,042
Fehler(COND)	Sphärität angenommen	18793,44	63,00	298,309			
	Greenhouse-Geisser	18793,44	55,69	337,490			
LOC	Sphärität angenommen	9101,10	21,00	433,386	26,575	0,000	0,559
	Greenhouse-Geisser	9101,10	5,19	1751,934	26,575	0,000	0,559
LOC * GROUP	Sphärität angenommen	233,94	21,00	11,140	0,683	0,851	0,032
	Greenhouse-Geisser	233,94	5,19	45,032	0,683	0,643	0,032
Fehler(LOC)	Sphärität angenommen	7191,90	441,00	16,308			
	Greenhouse-Geisser	7191,90	109,09	65,925			
COND * LOC	Sphärität angenommen	380,62	63,00	6,042	0,738	0,938	0,034
	Greenhouse-Geisser	380,62	9,93	38,314	0,738	0,688	0,034
COND * LOC * GROUP	Sphärität angenommen	639,60	63,00	10,152	1,240	0,102	0,056
	Greenhouse-Geisser	639,60	9,93	64,383	1,240	0,268	0,056
Fehler(COND*LOC)	Sphärität angenommen	10835,37	1323,00	8,190			
	Greenhouse-Geisser	10835,37	208,62	51,938			
ADC6							
COND	Sphärität angenommen	1211,95	3,00	403,985	1,255	0,297	0,056
	Greenhouse-Geisser	1211,95	2,63	460,479	1,255	0,298	0,056
COND * GROUP	Sphärität angenommen	1138,46	3,00	379,487	1,179	0,325	0,053
	Greenhouse-Geisser	1138,46	2,63	432,556	1,179	0,323	0,053
Fehler(COND)	Sphärität angenommen	20272,25	63,00	321,782			
	Greenhouse-Geisser	20272,25	55,27	366,781			
LOC	Sphärität angenommen	10214,20	21,00	486,391	25,391	0,000	0,547
	Greenhouse-Geisser	10214,20	5,07	2013,423	25,391	0,000	0,547
LOC * GROUP	Sphärität angenommen	255,47	21,00	12,165	0,635	0,893	0,029
	Greenhouse-Geisser	255,47	5,07	50,358	0,635	0,676	0,029
Fehler(LOC)	Sphärität angenommen	8447,95	441,00	19,156			
	Greenhouse-Geisser	8447,95	106,53	79,298			
COND * LOC	Sphärität angenommen	428,18	63,00	6,796	0,732	0,942	0,034
	Greenhouse-Geisser	428,18	10,22	41,912	0,732	0,697	0,034
COND * LOC * GROUP	Sphärität angenommen	879,81	63,00	13,965	1,505	0,007	0,067

	Greenhouse-Geisser	879,81	10,22	86,120	1,505	0,137	0,067
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	12279,98	1323,00	9,282			
	Greenhouse-Geisser	12279,98	214,54	57,239			
ADC7							
COND	Sphärizität angenommen	2127,09	3,00	709,031	1,973	0,127	0,086
	Greenhouse-Geisser	2127,09	2,69	791,194	1,973	0,134	0,086
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	1012,26	3,00	337,420	0,939	0,427	0,043
	Greenhouse-Geisser	1012,26	2,69	376,520	0,939	0,420	0,043
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	22638,11	63,00	359,335			
	Greenhouse-Geisser	22638,11	56,46	400,975			
LOC	Sphärizität angenommen	10854,61	21,00	516,886	24,607	0,000	0,540
	Greenhouse-Geisser	10854,61	5,01	2165,159	24,607	0,000	0,540
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	293,38	21,00	13,970	0,665	0,868	0,031
	Greenhouse-Geisser	293,38	5,01	58,520	0,665	0,651	0,031
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	9263,32	441,00	21,005			
	Greenhouse-Geisser	9263,32	105,28	87,988			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	530,43	63,00	8,420	0,813	0,852	0,037
	Greenhouse-Geisser	530,43	9,65	54,995	0,813	0,613	0,037
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	921,47	63,00	14,627	1,412	0,020	0,063
	Greenhouse-Geisser	921,47	9,65	95,537	1,412	0,180	0,063
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	13707,13	1323,00	10,361			
	Greenhouse-Geisser	13707,13	202,55	67,673			
ADC8							
COND	Sphärizität angenommen	1892,86	3,00	630,955	1,516	0,219	0,067
	Greenhouse-Geisser	1892,86	2,59	731,288	1,516	0,225	0,067
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	652,78	3,00	217,592	0,523	0,668	0,024
	Greenhouse-Geisser	652,78	2,59	252,194	0,523	0,642	0,024
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	26226,96	63,00	416,301			
	Greenhouse-Geisser	26226,96	54,36	482,501			
LOC	Sphärizität angenommen	12138,82	21,00	578,039	25,058	0,000	0,544
	Greenhouse-Geisser	12138,82	5,01	2423,438	25,058	0,000	0,544
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	336,19	21,00	16,009	0,694	0,840	0,032
	Greenhouse-Geisser	336,19	5,01	67,118	0,694	0,629	0,032
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	10173,10	441,00	23,068			
	Greenhouse-Geisser	10173,10	105,19	96,714			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	527,81	63,00	8,378	0,709	0,959	0,033
	Greenhouse-Geisser	527,81	9,66	54,629	0,709	0,711	0,033
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	1114,25	63,00	17,687	1,497	0,008	0,067
	Greenhouse-Geisser	1114,25	9,66	115,326	1,497	0,145	0,067
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	15635,94	1323,00	11,819			
	Greenhouse-Geisser	15635,94	202,90	77,064			
ADC9							
COND	Sphärizität angenommen	3032,36	3,00	1010,786	2,098	0,109	0,091
	Greenhouse-Geisser	3032,36	2,75	1104,196	2,098	0,116	0,091
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	911,38	3,00	303,795	0,630	0,598	0,029
	Greenhouse-Geisser	911,38	2,75	331,869	0,630	0,585	0,029
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	30357,98	63,00	481,873			
	Greenhouse-Geisser	30357,98	57,67	526,404			
LOC	Sphärizität angenommen	13351,03	21,00	635,763	24,983	0,000	0,543
	Greenhouse-Geisser	13351,03	5,12	2609,992	24,983	0,000	0,543
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	348,80	21,00	16,610	0,653	0,879	0,030
	Greenhouse-Geisser	348,80	5,12	68,187	0,653	0,664	0,030
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	11222,39	441,00	25,448			
	Greenhouse-Geisser	11222,39	107,42	104,470			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	494,25	63,00	7,845	0,591	0,995	0,027
	Greenhouse-Geisser	494,25	9,68	51,062	0,591	0,815	0,027
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	1236,00	63,00	19,619	1,479	0,010	0,066
	Greenhouse-Geisser	1236,00	9,68	127,692	1,479	0,152	0,066
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	17554,32	1323,00	13,269			
	Greenhouse-Geisser	17554,32	203,27	86,360			

ADC10							
COND	Sphärizität angenommen	3885,82	3,00	1295,273	2,536	0,065	0,108
	Greenhouse-Geisser	3885,82	2,66	1459,572	2,536	0,073	0,108
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	917,23	3,00	305,744	0,599	0,618	0,028
	Greenhouse-Geisser	917,23	2,66	344,526	0,599	0,599	0,028
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	32179,49	63,00	510,786			
	Greenhouse-Geisser	32179,49	55,91	575,577			
LOC	Sphärizität angenommen	13357,01	21,00	636,048	22,948	0,000	0,522
	Greenhouse-Geisser	13357,01	5,14	2600,711	22,948	0,000	0,522
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	373,09	21,00	17,766	0,641	0,888	0,030
	Greenhouse-Geisser	373,09	5,14	72,643	0,641	0,673	0,030
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	12223,06	441,00	27,717			
	Greenhouse-Geisser	12223,06	107,85	113,330			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	621,79	63,00	9,870	0,680	0,974	0,031
	Greenhouse-Geisser	621,79	9,90	62,823	0,680	0,741	0,031
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	1402,81	63,00	22,267	1,535	0,005	0,068
	Greenhouse-Geisser	1402,81	9,90	141,735	1,535	0,130	0,068
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	19190,82	1323,00	14,506			
	Greenhouse-Geisser	19190,82	207,85	92,332			
ADC11							
COND	Sphärizität angenommen	3696,77	3,00	1232,258	2,293	0,087	0,098
	Greenhouse-Geisser	3696,77	2,61	1413,891	2,293	0,096	0,098
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	953,68	3,00	317,895	0,592	0,623	0,027
	Greenhouse-Geisser	953,68	2,61	364,752	0,592	0,601	0,027
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	33852,24	63,00	537,337			
	Greenhouse-Geisser	33852,24	54,91	616,540			
LOC	Sphärizität angenommen	14604,61	21,00	695,458	22,281	0,000	0,515
	Greenhouse-Geisser	14604,61	5,02	2911,163	22,281	0,000	0,515
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	425,81	21,00	20,277	0,650	0,881	0,030
	Greenhouse-Geisser	425,81	5,02	84,878	0,650	0,663	0,030
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	13764,72	441,00	31,213			
	Greenhouse-Geisser	13764,72	105,35	130,655			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	772,53	63,00	12,262	0,783	0,892	0,036
	Greenhouse-Geisser	772,53	10,27	75,225	0,783	0,649	0,036
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	1788,90	63,00	28,395	1,813	0,000	0,079
	Greenhouse-Geisser	1788,90	10,27	174,194	1,813	0,058	0,079
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	20725,81	1323,00	15,666			
	Greenhouse-Geisser	20725,81	215,66	96,103			
ADC12							
COND	Sphärizität angenommen	1851,45	3,00	617,149	1,809	0,155	0,079
	Greenhouse-Geisser	1851,45	2,68	690,348	1,809	0,161	0,079
COND * GROUP	Sphärizität angenommen	768,98	3,00	256,326	0,751	0,526	0,035
	Greenhouse-Geisser	768,98	2,68	286,728	0,751	0,512	0,035
Fehler(COND)	Sphärizität angenommen	21491,84	63,00	341,140			
	Greenhouse-Geisser	21491,84	56,32	381,602			
LOC	Sphärizität angenommen	10459,15	21,00	498,055	26,213	0,000	0,555
	Greenhouse-Geisser	10459,15	5,18	2017,532	26,213	0,000	0,555
LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	267,96	21,00	12,760	0,672	0,862	0,031
	Greenhouse-Geisser	267,96	5,18	51,688	0,672	0,651	0,031
Fehler(LOC)	Sphärizität angenommen	8379,10	441,00	19,000			
	Greenhouse-Geisser	8379,10	108,87	76,967			
COND * LOC	Sphärizität angenommen	413,47	63,00	6,563	0,691	0,969	0,032
	Greenhouse-Geisser	413,47	9,86	41,931	0,691	0,730	0,032
COND * LOC * GROUP	Sphärizität angenommen	869,43	63,00	13,800	1,453	0,013	0,065
	Greenhouse-Geisser	869,43	9,86	88,169	1,453	0,160	0,065
Fehler(COND*LOC)	Sphärizität angenommen	12563,71	1323,00	9,496			
	Greenhouse-Geisser	12563,71	207,08	60,671			

Anhang III

Abfolge der Filmsequenzen

Abfolge A (mehr Angstsequenzen)		Abfolge B (mehr Ekelsequenzen)	
1.	heiter		heiter
2.	ekel		angst
3.	angst		ekel
4.	neutral		neutral
5.	ekel		angst
6.	heiter		heiter
7.	heiter		heiter
8.	neutral		neutral
9.	angst		ekel
10.	heiter		heiter
11.	angst		ekel
12.	ekel		angst
13.	angst		ekel
14.	neutral		neutral
15.	heiter		heiter
16.	angst		ekel
17.	heiter		heiter
18.	ekel		angst
19.	heiter		heiter
20.	ekel		angst
21.	angst		ekel
22.	heiter		heiter
23.	neutral		neutral
24.	heiter		heiter
25.	ekel		angst
26.	heiter		heiter
27.	angst		ekel
28.	neutral		neutral
29.	angst		ekel
30.	heiter		heiter
31.	heiter		heiter
32.	ekel		angst

33.	neutral	neutral
34.	heiter	heiter
35.	angst	ekel
36.	heiter	heiter
37.	angst	ekel
38.	heiter	heiter
39.	neutral	neutral
40.	ekel	angst
41.	angst	ekel
42.	heiter	heiter
43.	neutral	neutral
44.	angst	ekel
45.	heiter	heiter
46.	angst	ekel
47.	ekel	angst
48.	neutral	neutral
49.	heiter	heiter
50.	heiter	heiter
51.	angst	ekel
52.	neutral	neutral
53.	ekel	angst
54.	angst	ekel
55.	heiter	heiter

Anhang IV

Fragebogen mit Instruktion

Datum: _____

Probandennr.: _____

m ☐

w ☐

Alter: _____

Zuerst einmal, vielen, vielen Dank, dass Du bereit bist, all die Anstrengungen als Versuchsperson bei meiner Untersuchung auf Dich zu nehmen. Die gute Nachricht: den unangenehmsten Teil, das Anbringen der Elektroden hast Du bereits hinter Dir, die schlechte: es dauert jetzt noch 1 ½ bis 2 Stunden.

Im folgenden wirst Du insgesamt 55 Filmsequenzen sehen. Während der Film läuft, sitze bitte ganz still und bewege Dich nicht (das gilt auch für Stirnrunzeln, Augenzwinkern u. ä.) – das ist nämlich ganz wichtig für eine fehlerfreie Aufzeichnung des EEGs. Nach jeder Darbietung eines Filmausschnittes bitte ich Dich, kurz nachzudenken oder zu fühlen, welche Emotionen und wie intensiv sie bei dir durch diese Sequenz ausgelöst wurde. Trage das bitte auf dem beiliegenden Fragebogen ein.

Bsp.: Film X

a) *Emotion*: Bitte kreuze an (nur eine Antwort!), ob Du eine Emotion, und wenn ja, welche Emotion Du bei diesem Ausschnitt gespürt hast.

☐ Angst

☐ Heiterkeit

☐ Ekel

☐ sonstige:.....

☐ keine, neutral

b) *Intensität*: Wenn eine Emotion vorhanden war, wie intensiv hast Du sie empfunden?

Gar nicht

sehr stark

.....stelle Dir bitte bei dieser Frage eine Intensitätsskala von 0 – 100 vor, und zeichne einfach ein, in welchem Bereich gerade Deine empfundene Emotion liegt.....

c) *Bekanntheit*: Kennst Du den Film, aus dem der Ausschnitt war?

☐ ja

☐ nein

Beim Beantworten besteht kein Zeitlimit, allerdings bitte ich Dich die Fragen zügig zu bearbeiten und eine einmal gegebene Antwort nicht zu korrigieren (außer es handelt sich um einen Schreibfehler). Wenn Du damit fertig bist, kannst Du schon die nächste Sequenz starten, indem Du den orangen Knopf auf dem schwarzen Kästchen neben Dir drückst. Allerdings, ab dem Zeitpunkt an dem Du drückst, solltest Du Dich nicht mehr bewegen, also vergewissere Dich vorher, ob Du auch angenehm sitzt. Und noch etwas: die Filmsequenz lässt sich nur starten, wenn das Kreuz auf Deinem Bildschirm GRÜN ist, ist es ROT, dann ist der Computer noch damit beschäftigt den Ausschnitt zu laden, dann bitte nicht drücken und auf grün warten.

Das war es im Prinzip auch schon, ich wünsche Dir, trotz der widrigen Umstände, gute Unterhaltung beim Filmschauen!

Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war es elektrophysiologische Korrelate von Emotionsprozessen unterschiedlicher Qualität zu identifizieren. Dafür wurden verschieden emotional gefärbte Filmsequenzen (Angst, Ekel und Heiterkeit) vorgegeben, um mögliche Differenzen bezüglich DC-Topographie und deren Quellenlokalisierung messen zu können. Unterschiede zwischen den Emotionen - wobei sich immer Angst von Ekel und Heiterkeit abhob - konnten in Arealen gefunden werden, die im Zusammenhang mit emotionalen Prozessen stehen. IFG und Insula werden immer wieder genannt, geht es um Empathie, Emotionserkennung, soziale Emotionen und bewusste Wahrnehmung von Emotionen. Eine höhere Aktivität in diesem Bereich könnte auf eine intensivere Verarbeitung der Emotion Angst hindeuten – indem Angst einen für den Organismus relevanteren Reiz als Heiterkeit und Ekel darstellt und eine den gesamten Körper umfassende Aktivierung induziert.

In vorangegangenen Diplomarbeiten/Dissertationen des BRL (Kalusch-Klug, 1999; Fretska, 1999; Gerstmayer, 1999; Waldmüller, 2000) konnte immer wieder bei emotionaler Stimulierung eine massive späte großflächige langsame Positivierung von frontozentral bis temporal gemessen werden. Diese späte Positivierung (1000 – 3500 ms post stimulus) reflektiert inhaltliche Verarbeitungsprozesse emotionaler Reize. Einen großen Anteil an der im DC-EEG gemessenen Positivierung hat vermutlich die Amygdala. In vielen Studien (Naumann et al., 1992; Fretska, 1999; Thelen, 1999; Carretie et al., 2001; Morita et al., 2001) konnte zudem ein starker P 300 – Effekt repliziert werden, der als Ergebnis einer unkontrollierten emotionalen Reaktion über die sog. „low route“ nach J. LeDoux (1991) via Amygdala interpretiert wurde. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Untersuchungen lag der Aufmerksamkeitsfokus dieser Arbeit nicht auf den ersten evozierten Komponenten sondern auf der Entwicklung der „emotionalen“ DC-Positivierung über einen längeren Zeitraum hinweg. Unterschiede zwischen den Emotionsbedingungen wurden erfasst ab 10 Sekunden post Stimulusbeginn anhand einer langen emotionalen Stimulierung von über 1 Minute. Als emotionales Reizmaterial dienten 25 verschiedene ca 1,5 minütige Filmsequenzen, die wiederholt dargeboten wurden. Die unterschiedlichen Emotionskategorien waren die drei primären Emotionen Angst, Ekel und Heiterkeit. Für jede der drei gewählten Emotionen gibt es Hinweise auf verschiedene neuroanatomische Strukturen, die am jeweiligen Emotionsprozess vorwiegend beteiligt sind – z. B. die Amygdala bei Angst (Phan et al., 2001), die Insula bei Ekel (Wicker et al., 2003) oder der Nucleus Accumbens bei Heiterkeit (Lane et al., 1997). Speziell filminduzierte Emotionen lösen eine signifikante Aktivitätssteigerung im occipitotemporo-parietalen Cortex, im lateralen Cerebellum und Hypothalamus, in der Amygdala, der hippocampalen Formation und im anterioren Temporallappen aus (Reiman et al., 1997). Aber nicht nur verschiedenen Emotionen werden im Gehirn unterschiedlich verarbeitet – auch bei Frauen und Männer scheinen Emotionsprozesse hirnpfysiologisch nicht gleich abzulaufen, wie diverse Untersuchungen

annehmen lassen (z.B.: Gasbarri et al., 2007; Wager et al., 2003), und was ebenfalls in dieser Diplomarbeit überprüft wurde.

Insgesamt 36 Personen nahmen an dem Versuch teil, 23 (davon 11 Frauen) gingen letztendlich in die Auswertung ein. Die DC-Ableitungen wurden mit 29 Elektroden (22 für das Skalp-EEG) nach internationalem 10/20 System durchgeführt. Die Referenz war noncephal gewählt worden. Die genauen Elektrodenpositionen wurden für jede Vp mittels PHD bestimmt, die EEG-Signale gestaffelt gemittelt (Sequential Epochs Average, SEA). Die EEG- Daten wurden inferenzstatistisch anhand Varianzanalysen mit Messwiederholung, Linearen Kontrasten und Diskriminanzanalysen verrechnet. Die bildliche Darstellung und deskriptive Analyse erfolgte mittels sLORETA, SCP- und CSD- maps. Zusätzlich wurden subjektive Daten bezüglich Emotionsqualität und –intensität mit Fragebögen von allen Vp erhoben und varianzanalytisch ausgewertet.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass das Betrachten von Filmsequenzen unterschiedlicher Emotionskategorien zu differenzierten DC-Topographien führt. Die neuronalen Generatoren dieser Unterschiede konnten mit sLORETA rechts frontotemporal im inferioren frontalen Gyrus (IFG, BA 44), in Insula (BA13) und Uncus (BA38) lokalisiert werden, welche in der Angstbedingung signifikant stärker erregt waren, und was darauf hindeuten könnte, dass die Angstreize eine intensivere, bis in die Peripherie reichende Aktivierung auslösen. Dies deckt sich mit der Annahme einer Defensiv-Reaktion in Form der weitreichenden späten DC-Positivierung (Gerstmayer, A., 1999), die auch in diesem Experiment trotz des späten Zeitfensters in allen drei Emotionsbedingungen beobachtet werden konnte. Nachdem zahlreiche Studien eine Beteiligung von Insula und IFG auch bei anderen Emotionen zeigen, scheint es nicht die Emotion an sich zu sein, die eine verstärkte Aktivität auslöst, sondern die Wichtigkeit für den Organismus. Auffallend ist, dass alle Unterschiede zwischen den Emotionsbedingungen ausschließlich in der rechten Hemisphäre auftreten. Allerdings erscheint dies durchaus schlüssig, geht man davon aus, dass die rechte Hemisphäre intensivere Verbindungen zu peripheren, autonomen und viszerale Systemen unterhält und damit die bevorzugte Hirnhälfte für peripheres Feedback im Rahmen emotionaler Prozesse darstellt (Heilman, 2010).

Die kortikalen Erregungsmuster waren sowohl für Männer als auch für Frauen gleich - nicht gleich hingegen waren aber die subjektiven Ratings der empfundenen Emotionen, die von den Frauen durchwegs deutlich intensiver bewertet wurden. Das kann einerseits auf einen Geschlechterrolleffekt beim Einschätzen der Gefühle hindeuten, oder durch das Versuchsdesign bedingt sein, insofern als dass bspw. mit einer höheren Elektrodendichte oder einem anderen Mittelungsverfahren vielleicht eher Unterschiede hätten entdeckt werden können.

Abschließend sollte darauf hingewiesen werden, dass sich unter Umständen die gefundenen Unterschiede hinsichtlich der langsamen Potentialverteilungen sowie deren Generatoren auch durch

Eigenschaften des vorgegebenen Filmmaterials ergeben haben könnten. Eine Reihe von Untersuchungen lässt darauf schließen, dass IFG und Insula vor allem dann aktiv werden, wenn es um das Deuten von emotionaler Mimik geht (Levens S.M., Phelps E.A., 2010; Van der Gaag, C., et al., 2007). Für diese Arbeit könnte das bedeuten, dass die gefundenen Unterschiede nicht auf der Emotion Angst, bzw. deren Relevanz, gründen, sondern darauf, dass die Vp in den Angstsequenzen verstärkt dargestellte, emotionale Gesichtsmimik zu verarbeiten hatten.

Generell lassen sich mit Filmsequenzen zwar gut die intendierten Emotionen auslösen, sie sollten prinzipiell aber vorvalidiert, gut durchmischt und auf mögliche Konfundierungen durch Geschlechtereffekte überprüft sein. Für künftige Untersuchungen sollten neben einer größeren Elektrodendichte vor allem genügend Filme pro Bedingung vorhanden sein, um ein Average mit sehr guter zeitlicher Auflösung herstellen zu können.

Abstract:

The aim of this thesis is to identify differences in the DC-EEG-topography and the electro-cortical source localization between the different emotions: fear, disgust and pleasure. Previous studies in this context demonstrated a widespread, late positive slow wave in the frontocentral and temporal cortical surface areas under emotional stimulation. The positive slow potentials were implied to be a Defence Reaction. As opposed to the most recent studies, the main focal point of this thesis focuses on the very late development (10 seconds and up) of the “emotional” cortical activity.

Method: Slow cortical potentials of 23 subjects (11 female) were recorded during observation of short emotional film clips according to the three different emotions. sLORETA was used for the electrical source localization, EEG – data were statistically analysed with repeated measurement ANOVAs, linear contrasts and discriminant analysis.

Results: Differences between disgust, pleasure and fear occurred in parts of the brain related to the emotional processes such as empathy, social emotions and emotional awareness. Inferior frontal gyrus (IFG, BA 44), insula (BA 13) and uncus (BA 38) exhibited enhanced activity in the right hemisphere during fear conditions. All of these areas are most likely crucial for emotional awareness as a result of interpreting interoceptive afferences. Increased activity in IFG, insula and uncus during fear condition could reflect a stronger peripheral involvement due to the importance of this emotion.

Curriculum Vitae



Name: Ulrike Tschida

Staatsbürgerschaft: Österreich

Geburtsdatum: 15.3.1969

Geburtsort: Eisenstadt

Familienstand: ledig

Kinder: 1

Schulbildung, Studium

1975-1979	VS Güssing und VS Oberwart
1979-1987	BG Oberschützen, Maturaprüfung in den Fächern: Deutsch, Russisch, Latein, Mathematik und Biologie
1987-1989	Studium Publizistik und Kommunikationswissenschaften, Universität Wien, (n. abg.)
1992-1993	Studium Soziologie und Geschichte, Universität Wien, (n. abg.)
1994-pres	Studium der Psychologie, Universität Wien; Diplomarbeit im Bereich Biologische Psychologie

Berufliche Tätigkeiten

2009-pres (bzw. 1995-2005)	EEG-Assistentin und wissenschaftliche Mitarbeiterin im Schlaflabor Rudolfinerhaus, Wien 1190, bei Prof. Dr. B. Saletu, sowie im Schlaflabor an der Universitätsklinik für Psychiatrie, AKH Wien, bei Prof. Dr. G. Saletu - Zylinder
2004-2008 (2006 – Karenz)	Mitarbeiterin der Firma ABS- Austrian Business Service, Esterhazyg.19, 1060 Wien; Tätigkeitsbereiche: Projektplanung, Coaching, Personalentwicklung;
2003	Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Projekt: „Neue Wege der Leistungsdiagnostik“ in der Abteilung Biologische Psychologie unter Prof. Dr. H. Bauer, Universität Wien, Fakultät für Psychologie
2001-2002	Tutorin für Neuropsychologie bei Prof. Dr. H. Bauer
1999-2001	Tutorin für Gesprächsführung in der Berufsberatung bei Lektor Dr. Th. Pollmann, Universität Wien, Fak. f. Psychologie
1994-1997	Freie Mitarbeiterin beim Österreichischen Wirtschaftsverband
1988-1993	Redakteurin und Moderatorin für Radio und Fernsehen in der Abteilung Gesellschaft, Jugend und Familie sowie im Aktuellen Dienst, ORF Landesstudio Burgenland

Sonstige Praktika/Ausbildung

1998	Psychologisches Praktikum an der Lebertransplantationsambulanz und der Chronischen Dialysetation, AKH Wien, bei Mag. E. Freundorfer
1988-1992	diverse Fortbildungsseminare im Rahmen der ORF-internen Weiterbildung, - Sprecherausbildung, Stimmbildung, Sendungsgestaltung und Moderation